

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-284727

(43)Date of publication of application : 12.10.2001

(51)Int.CI. H01S 5/183  
H01S 5/343

(21)Application number : 2000-091803 (71)Applicant : SEIKO EPSON CORP

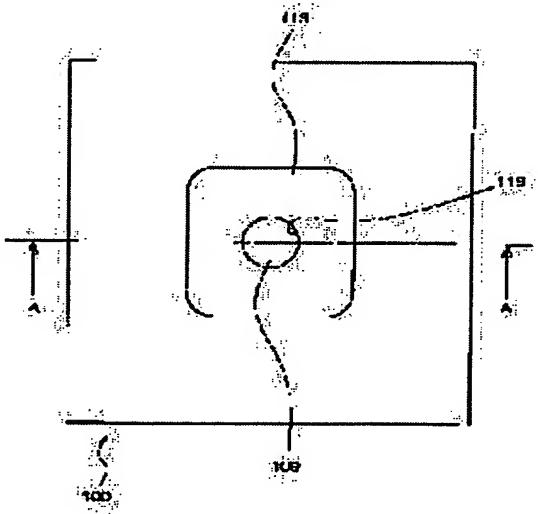
(22)Date of filing : 29.03.2000 (72)Inventor : KANEKO TAKESHI  
KONDO TAKAYUKI  
NISHIDA TETSURO

### (54) SURFACE-EMITTING SEMICONDUCTOR LASER AND ITS MANUFACTURING METHOD

#### (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a surface-emitting semiconductor laser that can effectively obtain a laser beam that is set to a single horizontal mode, and at the same time has a beam shape close to a round, and its manufacturing method.

**SOLUTION:** In a surface-emitting semiconductor laser 100, a resonator 120 is formed on a semiconductor substrate 101 with a plane index (100). The resonator 120 includes a columnar part 110, and a current constriction layer 111 is formed at the columnar part 110. On a surface including the current constriction layer 111, the shape of a circumference 140 at the columnar part 110 includes annular parts 140a1 to 140a4 that are similar to one part of the inner circumference 111a of the current constriction layer 111. Each annular part is formed in each of <010>, <001>, <0-10>, and <00-1> directions from the center of the inner circumference 111a of the current constriction layer 111, and at the same time is formed nearly concentrically with one part of the shape of the inner circumference 111a.



**LEGAL STATUS**

[Date of request for examination] 24.09.2003

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

**\* NOTICES \***

JPO and NCIP are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

---

**CLAIMS**

---

**[Claim(s)]**

[Claim 1] It is the field luminescence mold semiconductor laser which a resonator is formed on the semi-conductor substrate which has indices of crystal plane (100), and carries out outgoing radiation of the laser beam from this resonator to said semi-conductor substrate and perpendicular direction. Said resonator In the field where the semi-conductor deposition object of the shape of said column contains said current constriction layer at least in a part including a current constriction layer including a column-like semi-conductor deposition object The configuration of the periphery of the semi-conductor deposition object of the shape of said column contains a part of configuration of the inner circumference edge of said current constriction layer, and the arc-shaped configuration section to approximate. Said arc-shaped configuration section Field luminescence mold semiconductor laser currently formed in the <010> directions, the <001> directions, the <0-10> direction, and the <00-1> direction from the core of the inner circumference edge of said current constriction layer, respectively.

[Claim 2] Field luminescence mold semiconductor laser by which the part and said arc-shaped configuration section of a configuration of said current constriction layer are mostly formed in concentric circular in claim 1. [ of an inner circumference edge ]

[Claim 3] In claims 1 or 2 said arc-shaped configuration section The inner circumference edge of said current constriction layer From the core of the inner circumference edge of said current constriction layer to the <01-1> direction Field luminescence mold semiconductor laser which is in the condition on which the configuration which divides, respectively in the <011> directions, the <0-11> direction, and the <0-1-1> direction, and is acquired in them was made to project in the <010> directions, the <001> directions, the <0-10> direction, and the <00-1> direction, respectively.

[Claim 4] Field luminescence mold semiconductor laser with a distance respectively almost equal [ from the core of the inner circumference edge of said current constriction layer to said arc-shaped configuration section ] in either of claims 1-3.

[Claim 5] It is the field luminescence mold semiconductor laser which has the configuration where said arc-shaped configuration section divided the inner circumference edge of said current constriction layer into one fourth in either of claims 1-4.

[Claim 6] Field luminescence mold semiconductor laser currently formed outside in the field containing said current constriction layer in either of claims 1-5 from the segment which connects said arc-shaped configuration sections which the periphery of the semi-conductor deposition object of the shape of said column except said arc-shaped configuration section adjoins.

[Claim 7] Field luminescence mold semiconductor laser whose periphery of the semi-conductor deposition object of the shape of said column excluding [ on the field which contains said current constriction layer in either of claims 1-6, and ] said arc-shaped configuration section is a curve-like.

[Claim 8] Field luminescence mold semiconductor laser whose periphery of the semi-conductor deposition object of the shape of said column excluding [ on the field which contains said current constriction layer in either of claims 1-7, and ] said arc-shaped configuration section is a straight line-like.

[Claim 9] It is the field luminescence mold semiconductor laser currently formed in the periphery of the semi-conductor deposition object of the shape of said column excluding [ on the field which the distortion adjunct for making said barrier layer generate distortion in either of claims 1-8 is formed in the semi-conductor deposition object of the shape of said column, and contains said current constriction layer, and / said distortion adjunct ] said arc-shaped configuration section.

[Claim 10] Field luminescence mold semiconductor laser whose inner circumference edge of said current constriction layer is a perfect circle form in claims 1-9.

[Claim 11] The manufacture approach of the field luminescence mold semiconductor laser containing following process (a) - (c).

(a) The process which carries out the laminating of the semi-conductor deposit containing the layer for forming a current constriction layer in the front face of the semi-conductor substrate which has indices of crystal plane (100), (b) In the field containing the layer for being the process which etches said semi-conductor deposit and forms a column-like semi-conductor deposition object, and forming said current constriction layer From the core of the inner circumference edge of said current constriction layer which designs the configuration of the inner circumference edge of a current constriction layer in the predetermined configuration, and was designed, respectively The <010> directions, The process which forms the semi-conductor deposition object of the shape of said column which contains a part of configuration of the inner circumference edge of said designed current constriction layer, and the arc-shaped configuration section to approximate in the periphery in the <001> directions, the <0-10> direction, and the <00-1> direction, and (c) -- the process which forms the current constriction layer which has the designed predetermined configuration and the almost same configuration from the layer for forming this current constriction layer by oxidizing the layer for forming said current constriction layer from a side face.

[Claim 12] A part of configuration of the inner circumference edge of said current constriction layer designed in said process (b) in claim 11, and the manufacture approach of the field luminescence mold semiconductor laser which forms said arc-shaped configuration section in concentric circular mostly.

[Claim 13] From the core of the inner circumference edge of said current constriction layer designed in said process (b) in claims 11 or 12 to the <01-1> direction The configuration which divides the inner circumference edge of said current constriction layer in the <011> directions, the <0-11> direction, and the <0-1-1> direction, and is acquired in them The manufacture approach of the field luminescence mold semiconductor laser which is made to project in the <010> directions, the <001> directions, the <0-10> direction, and the <00-1> direction, respectively, and forms said arc-shaped configuration section.

[Claim 14] Field luminescence mold semiconductor laser formed so that the distance from the core of the inner circumference edge of said designed current constriction layer to said arc-shaped configuration section may become almost equal in said process (b) in either of claims 11-13.

[Claim 15] The manufacture approach of the field luminescence mold semiconductor laser which forms said arc-shaped configuration section in one fourth of the configurations of the inner circumference edge of said designed current constriction layer in said process (b) in either of claims 11-14.

[Claim 16] The manufacture approach of the field luminescence mold semiconductor laser formed outside from the segment which connects said arc-shaped configuration sections which adjoin the periphery of the semi-conductor deposition object of the shape of said column except said arc-shaped configuration section in the field which contains said designed current constriction layer in said process (b) in either of claims 11-15.

---

[Translation done.]

**\* NOTICES \***

JPO and NCIPPI are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

---

**DETAILED DESCRIPTION**

---

**[Detailed Description of the Invention]****[0001]**

**[Field of the Invention]** This invention relates to the field luminescence mold semiconductor laser which carries out outgoing radiation of the laser beam vertically to a semi-conductor substrate, and its manufacture approach.

**[0002]**

**[Background of the Invention]** Field luminescence mold semiconductor laser is semiconductor laser which carries out outgoing radiation of the laser beam vertically to a semi-conductor substrate, and the resonator is perpendicularly formed on the semi-conductor substrate. After this resonator oscillates a laser beam, outgoing radiation of it is carried out, the laminating of a reflecting layer, a barrier layer, and the reflecting layer is carried out to order, and it is constituted.

[0003] As one of the means to make field luminescence mold semiconductor laser efficient, the structure where the current constriction layer was formed is proposed and it is widely used for said a part of reflecting layer. This current constriction layer is formed by oxidizing this layer for current constriction stratification from a side face, after forming in said a part of reflecting layer the layer for current constriction stratification (layer for forming a current constriction layer) which consists of an AlAs layer. Here, inside a current constriction layer, the layer for current constriction stratification which did not oxidize remains. For this reason, a current constriction layer has the shape of so-called anchor ring which has an inner circumference edge and a periphery edge.

[0004] Moreover, compared with end-face laser, it is mentioned as one of the descriptions which was excellent in field luminescence mold semiconductor laser that a laser radiation angle is isotropic and small. For this reason, as for field luminescence mold semiconductor laser, the application as the light source is expected in optic fiber communication, optical juxtaposition information processing, etc.

[0005] It is desirable for the laser beam by which outgoing radiation is carried out from field luminescence mold semiconductor laser to be single transverse mode, and to have the shape of beam more near a perfect circle especially, if coupling effectiveness with an optical fiber is taken into consideration when using field luminescence mold semiconductor laser for the light source of the optical communication which used the optical fiber, for example. In order to obtain the field luminescence mold semiconductor laser which has such the shape of beam, it is desirable for the inner circumference section of the current constriction layer mentioned above to have a configuration more near a perfect circle.

[0006] However, as mentioned above, since a current constriction layer was formed by oxidizing the layer for current constriction stratification from a side face, it had the case where it was difficult to control an inner circumference edge in the configuration more near a perfect circle depending on the conditions of oxidation.

**[0007]**

**[Problem(s) to be Solved by the Invention]** The object of this invention is to offer the field luminescence mold semiconductor laser which is single transverse mode and can obtain efficiently the laser beam which has the shape of beam more near a perfect circle, and its process approach.

[0008]

[Means for Solving the Problem] (A) A resonator is formed on the semi-conductor substrate with which the field luminescence mold semiconductor laser of this invention has indices of crystal plane (100). It is the field luminescence mold semiconductor laser which carries out outgoing radiation of the laser beam from this resonator to said semi-conductor substrate and perpendicular direction. Said resonator In the field where the semi-conductor deposition object of the shape of said column contains said current constriction layer at least in a part including a current constriction layer including a column-like semi-conductor deposition object The configuration of the periphery of the semi-conductor deposition object of the shape of said column contains a part of configuration of the inner circumference edge of said current constriction layer, and the arc-shaped configuration section to approximate. Said arc-shaped configuration section It is formed in the <010> directions, the <001> directions, the <0-10> direction, and the <00-1> direction from the core of the inner circumference edge of said current constriction layer, respectively.

[0009] With the semi-conductor substrate which has the indices of crystal plane (100) said to this application, not only the semi-conductor substrate that has indices of crystal plane (100) strictly but the dip substrate which has the substrate front face to which it inclined the minute include angle to the field (100) (to about 5 degrees) is included.

[0010] Moreover, the crystal orientation in the semi-conductor substrate with which the <010> directions said to this application, the <001> directions, the <0-10> direction, and the <00-1> direction have indices of crystal plane (100) is said.

[0011] According to this field luminescence mold semiconductor laser, the laser beam which has the shape of beam more near a perfect circle can be obtained. In detail, it explains in full detail in the column of the gestalt of operation of this invention.

[0012] (1) - (9) can be illustrated as a desirable mode of said field luminescence mold semiconductor laser.

[0013] (1) It is desirable to form mostly the part and said arc-shaped configuration section of a configuration of said current constriction layer in concentric circular. [ of an inner circumference edge ]

[0014] Said arc-shaped configuration section the inner circumference edge of said current constriction layer (2) From the core of the inner circumference edge of said current constriction layer to the <01-1> direction It is desirable that it is in the condition on which the configuration which divides, respectively in the <011> directions, the <0-11> direction, and the <0-1-1> direction, and is acquired in them was made to project in the <010> directions, the <001> directions, the <0-10> direction, and the <00-1> direction, respectively.

[0015] The crystal orientation in the semi-conductor substrate with which the <01-1> direction said to this application, the <011> directions, the <0-11> direction, and the <0-1-1> direction have indices of crystal plane (100) is said.

[0016] According to this configuration, the effectiveness mentioned above can be acquired.

[0017] (3) Distance from the core of the inner circumference edge of said current constriction layer to said arc-shaped configuration section can be made almost respectively equal.

[0018] (4) Said arc-shaped configuration section can be made into the configuration where the inner circumference edge of said current constriction layer was divided into one fourth.

[0019] (5) In the field containing said current constriction layer, it can form outside from the segment which connects said arc-shaped configuration sections which adjoin the periphery of the semi-conductor deposition object of the shape of said column except said arc-shaped configuration section. When according to this configuration oxidizing the semi-conductor deposition object of the shape of said column from a side face and forming said current constriction layer, the configuration of said current constriction layer can be controlled circularly.

[0020] (6) In the field containing said current constriction layer, the periphery of the semi-conductor deposition object of the shape of said column except said arc-shaped configuration section can be made into the shape of a curve.

[0021] (7) In the field containing said current constriction layer, the periphery of the semi-conductor

deposition object of the shape of said column except said arc-shaped configuration section can be made into the shape of a straight line.

[0022] (8) The distortion adjunct for making said barrier layer generate distortion is formed in the semi-conductor deposition object of the shape of said column, and can form said distortion adjunct in the periphery of the semi-conductor deposition object of the shape of said column except said arc-shaped configuration section in the field containing said current constriction layer.

[0023] According to this configuration, polarization of a laser beam is controllable by forming said distortion adjunct in the semi-conductor deposition object of the shape of said column.

[0024] (9) The inner circumference edge of said current constriction layer can be made into a perfect circle form.

[0025] (B) The manufacture approach of the field luminescence mold semiconductor laser concerning this invention contains following process (a) - (c).

[0026] (a) The process which carries out the laminating of the semi-conductor deposit containing the layer for forming a current constriction layer in the front face of the semi-conductor substrate which has indices of crystal plane (100), (b) In the field containing the layer for being the process which etches said semi-conductor deposit and forms a column-like semi-conductor deposition object, and forming said current constriction layer From the core of the inner circumference edge of said current constriction layer which designs the configuration of the inner circumference edge of a current constriction layer in the predetermined configuration, and was designed, respectively The <010> directions, The process which forms the semi-conductor deposition object of the shape of said column which contains a part of configuration of the inner circumference edge of said designed current constriction layer, and the arc-shaped configuration section to approximate in the periphery in the <001> directions, the <0-10> direction, and the <00-1> direction, and (c) -- the process which forms the current constriction layer which has the designed predetermined configuration and the almost same configuration from the layer for forming this current constriction layer by oxidizing the layer for forming said current constriction layer from a side face.

[0027] According to this manufacture approach, the configuration of the inner circumference edge of a current constriction layer is first designed in the predetermined configuration, and the periphery forms the semi-conductor deposition object of the shape of said column which has a predetermined configuration based on the configuration of the inner circumference edge of the designed current constriction layer. That is, the current constriction layer which has the inner circumference edge of the designed predetermined configuration and the almost same configuration can be formed by forming the semi-conductor deposition object of the shape of said column which has the configuration of a periphery where the configuration of the inner circumference edge of said current constriction layer was reflected. The field luminescence mold semiconductor laser which carries out outgoing radiation of the laser beam which has the shape of beam more near a perfect circle can be obtained by forming the inner circumference edge of a current constriction layer circularly especially.

[0028] (1) - (5) can be illustrated as a desirable mode of the manufacture approach of said field luminescence mold semiconductor laser.

[0029] (1) In said process (b), said arc-shaped configuration section can be mostly formed in concentric circular with a part of configuration of the inner circumference edge of said designed current constriction layer.

[0030] (2) From the core of the inner circumference edge of said current constriction layer designed in said process (b) to the <01-1> direction The configuration which divides the inner circumference edge of said current constriction layer in the <011> directions, the <0-11> direction, and the <0-1-1> direction, and is acquired in them It can be made to be able to project in the <010> directions, the <001> directions, the <0-10> direction, and the <00-1> direction, respectively, and said arc-shaped configuration section can be formed.

[0031] (3) In said process (b), it can form so that the distance from the core of the inner circumference edge of said designed current constriction layer to said arc-shaped configuration section may become almost equal.

[0032] (4) Said arc-shaped configuration section can be formed in one fourth of the configurations of the inner circumference edge of said designed current constriction layer in said process (b).

[0033] (5) In said process (b), it can form outside in the field containing said designed current constriction layer from the segment which connects said arc-shaped configuration sections which adjoin the periphery of the semi-conductor deposition object of the shape of said column except said arc-shaped configuration section.

[0034]

[Embodiment of the Invention] Hereafter, the gestalt of suitable operation of this invention is explained, referring to a drawing.

[0035] (Gestalt of the 1st operation)

(Manufacture process of a device) The manufacture approach of the field luminescence mold semiconductor laser 100 (henceforth a "surface emission-type laser") concerning the gestalt of operation of the 1st of this invention is first explained using drawing 4 -7. Drawing 4 -6 are the sectional view showing typically the production process of the surface emission-type laser 100 concerning the gestalt of this operation. Drawing 7 is drawing showing typically the cross section at the time of cutting the pillar-shaped section 110 formed in the production process of a surface emission-type laser 100 shown in drawing 5 in the field containing layer 107a for current constriction stratification.

[0036] The manufacture approach of the surface emission-type laser 100 concerning the gestalt of this operation mainly consists of following process (a) - (c). A process (a) is a process which carries out the laminating of the semi-conductor deposit 150 containing layer 107a for current constriction stratification to the front face of the semi-conductor substrate 101 which has indices of crystal plane (100). A process (b) is a process which etches said semi-conductor deposit 150 and forms the pillar-shaped section 110. In the field which contains layer 107a for current constriction stratification according to this process The configuration of inner circumference marginal 111a of the current constriction layer 111 formed in a next process is designed in the predetermined configuration (circle 111x shown in drawing 7 ). From the core of the inner circumference edge of the designed current constriction layer 111, respectively The <010> directions, The pillar-shaped section 110 which contains a part of configuration of the inner circumference edge of the designed current constriction layer 111 and the arc-shaped configuration section 140a1,140a2,140a3,140a4 to approximate in the periphery 140 is formed in the <001> directions, the <0-10> direction, and the <00-1> direction. A process (c) is a process which forms the current constriction layer 111 which has the designed predetermined configuration (circle 111x) and the almost same configuration from the layer 107 for current constriction stratification by oxidizing the layer 107 for current constriction stratification from a side face.

[0037] The surface emission-type laser 100 shown in drawing 1 according to the above process is obtained.

[0038] First, a process (a) is explained.

[0039] (a) It consists of an n mold GaAs, and form the semi-conductor deposit 150 shown in drawing 4 by carrying out epitaxial growth, making the front face of the semi-conductor substrate 101 which has indices of crystal plane (100) modulate a presentation. The lower mirror 103 which carried out the laminating of the buffer layer 102 and n mold aluminum0.9Ga0.1As layer which consist of an n mold GaAs, and the n mold aluminum0.2Ga0.8As layer by turns in the semi-conductor deposit 150 here, n mold cladding layer 104a which consists of n mold aluminum0.5Ga0.5As, GaAs -- a well -- from a layer and an aluminum0.3Ga0.7As barrier layer -- becoming -- a well -- barrier layer 105a of the multiplex well structure where a layer consists of three layers -- p mold cladding layer 106a which consists of aluminum0.5Ga0.5As, current constriction layer 107a which consists of a p mold AlAs, Say up mirror 108a which carried out the laminating of a p mold aluminum0.9Ga0.1As layer and the p mold aluminum0.2Ga0.8As layer by turns, and contact layer 109a which consists of a p mold GaAs, these layers are made to \*\*\*\* on the semi-conductor substrate 101 in order, and the semi-conductor deposit 150 is formed. Moreover, the near field in which the front face of the semi-conductor substrate 101 forms a resonator 120 at a next process in the semi-conductor substrate 101 is said.

[0040] Here, in order to form the current constriction layer 111 into the pillar-shaped section 110 in the

process mentioned later, layer 107a for current constriction stratification which consists of a p mold AlAs with a thickness of 30nm is formed into up mirror 108a. In addition, the location in which the current constriction layer 111 is installed is not necessarily limited to this location, and it is desirable from right above [ of p mold cladding layer 106a ] to install [ of the thickness of up mirror 108a ] about 1/in before the location of 2.

[0041] Although the temperature at the time of performing epitaxial growth is suitably determined by the class of semi-conductor substrate 101 or the class of semi-conductor deposit 150 which forms, and thickness, generally it is desirable that it is 600-800 degrees C. Moreover, the duration at the time of performing epitaxial growth as well as temperature is determined suitably. moreover -- as the approach of carrying out epitaxial growth -- organic metal vapor growth (MOVPE: Metal-Organic Vapor Phase Epitaxy) -- law and MBE -- law (Molecular Beam Epitaxy) -- law or LPE -- law (Liquid Phase Epitaxy) can be used.

[0042] Then, a process (b) is explained.

[0043] (b) Then, on contact layer 109a, form the resist layer (not shown) of a predetermined pattern by carrying out patterning of this photoresist by the photolithography after applying a photoresist (not shown). Subsequently, the part applied to n mold cladding layer 104a among resonators 120 from the laser beam outgoing radiation side of a surface emission-type laser 100, i.e., contact layer 109a, up mirror 108a, layer 107 for current constriction stratification a, p mold cladding layer 106a, barrier layer 105a, and n mold cladding layer 104a are etched by the dry etching method by using this resist layer as a mask, and the pillar-shaped section 110 shown in drawing 5 is formed. Here, in the pillar-shaped section 110, it is some resonators 120 and a column-like semi-conductor deposition object is said. It sees clutteringly a laser beam outgoing radiation side, is etched in the shape of [ of 20 micrometer around ] a false rectangle by the above, and the contact layer 109, the up mirror 108, the layer 107 for current constriction stratification, p mold cladding layer 106, a barrier layer 105, and n mold cladding layer 104 are formed of it. In addition, in this process, the layer etched is not limited to these but is suitably determined by the configuration of the resonator made into the object.

[0044] Here, the configuration of the pillar-shaped section 110 formed by etching is described in detail below.

[0045] In the process which forms a surface emission-type laser using the semi-conductor substrate which has indices of crystal plane (100), when forming a current constriction layer by oxidation of the layer for current constriction stratification, the anisotropy relevant to the crystal orientation of a semi-conductor substrate exists in the oxidation rate of the layer for current constriction stratification. The oxidation rate of the layer for formation for current constrictions has the <010> directions, the <001> directions, the <0-10> direction, and the quickest <00-1> direction, priority is given in these directions and, specifically, a current constriction layer is formed.

[0046] In this invention, the configuration and magnitude of inner circumference marginal 111a ( $R > \text{drawing 3}$  reference) of the current constriction layer 111 for which it asks based on the anisotropy relevant to the crystal orientation of the semi-conductor substrate 101 existing to the oxidation rate of the content 107 mentioned above, i.e., the layer for current constriction stratification, form the pillar-shaped section 110 reflected in the configuration of a periphery 140.

[0047] First, as shown in drawing 7, specifically, it assumes forming the current constriction layer 111 from which a periphery constitutes circle 111x (broken-line section) of a bore r1 in the field containing the layer 107 for current constriction stratification. That is, the configuration of the inner circumference edge of the current constriction layer 111 is designed first. From the core of the inner circumference edge of the designed current constriction layer 111 to then, the <01-1> direction In the <011> directions, the <0-11> direction, and the <0-1-1> direction The arc-shaped configuration section 111x1, 111x2, 111x3, 111x4 which divides circle 111x and is obtained The pillar-shaped section 110 which contains in the configuration of the periphery 140 the arc-shaped configuration section 140a1, 140a2, 140a3, 140a4 which is made to project in the <010> directions, the <001> directions, the <0-10> direction, and the <00-1> direction, respectively, and is obtained is formed. That is, the arc-shaped configuration section 140a1, 140a2, 140a3, 140a4 is the almost same arc-shaped magnitude as the

configuration section 111x1,111x2,111x3,111x4 and an arc-shaped configuration, and is mostly formed in concentric circular, respectively.

[0048] The arc-shaped configuration section 111x1,111x2,111x3,111x4 has the configuration which divides into one fourth circle 111x constituted by the inner circumference edge of the current constriction layer 111 for which it asks, and is acquired. Therefore, it has the configuration from which the arc-shaped configuration section 140a1,140a2,140a3,140a4 divides circle 111x into one fourth similarly, and is obtained. Furthermore, the arc-shaped configuration section 140a1,140a2,140a3,140a4 is formed in the location where the distance 114 between distance 113,140a4 between distance 112,140a3 between distance 111,140a2 and 111 x2 between the arc-shaped configuration section 140a1 and 111x1 and 111x3 and 111x4 becomes almost equal.

[0049] Moreover, in the field containing the layer 107 for current constriction stratification, as shown in drawing 7, the configuration of the periphery 140 of the pillar-shaped section 110 consists of segments 140b1,140b2,140b3,140b4 which connect what the part except the arc-shaped configuration section 140a1,140a2,140a3,140a4 adjoins among these arc-shaped configuration sections. In the gestalt of this operation, although the case where the configuration of the periphery 140 of the pillar-shaped section 110 included a segment 140b1,140b2,140b3,140b4 was shown, the configuration of the periphery 140 of the pillar-shaped section 110 is not limited to this. However, it is desirable to form the configuration of the periphery 140 of the pillar-shaped section 110 so that the part except the arc-shaped configuration section 140a1,140a2,140a3,140a4 may exist outside from a segment 140b1,140b2,140b3,140b4.

[0050] By the above, as shown in drawing 7, in the field containing the layer 107 for current constriction stratification, the configuration of the periphery 140 forms the arc-shaped configuration section 140a1,140a2,140a3,140a4 and the pillar-shaped section 110 which consists of segments 140b1,140b2,140b3,140b4.

[0051] Then, a process (c) is explained.

[0052] The layer 107 for current constriction stratification which consists of a p mold AlAs layer is exposed to the bottom of an about 400-degree C steam ambient atmosphere. Of this process, the AlAs layer oxidizes from the side face to the inside, and the aluminum oxide which is an insulator is formed. That is, the layer 107 for current constriction stratification oxidizes from a side face, and as shown in drawing 6, the current constriction layer 111 containing an aluminum oxide and current valley layer 107c (part which was not changed into the current constriction layer 111 among the layers 107 for current constriction stratification) surrounded in the current constriction layer 111 in the periphery section are formed. In drawing 6, the cross section at the time of cutting in respect of the current constriction layer 111 being included is shown in drawing 3. As shown in drawing 3, the current constriction layer 111 which has a desired configuration is obtained according to the above-mentioned process. That is, in the field containing the current constriction layer 111, the current constriction layer 111 which has inner circumference marginal 111a which constitutes the circle of a bore r1 is obtained. Inner circumference marginal 111a shown in drawing 3 has the almost same configuration as circle 111x (refer to drawing 7) designed, and magnitude, and is formed in the almost same location. Of the above process, a resonator 120 is formed on the semi-conductor substrate 101.

[0053] Subsequently, the insulating layer 112 which consists of silicon oxide (SiO<sub>x</sub> film) is formed in a part of side face of the pillar-shaped section 110, and the top face of the lower mirror 103 with the CVD method which used the mono silane as the raw material. The class of insulating layer is not limited to silicon oxide, and may use other insulator layers, such as a silicon nitride film (SiN<sub>x</sub> film). Or the embedded structure using resin ingredients, such as polyimide, may be used. Then, the alloy layer (not shown) which consists of an alloy of gold and zinc with a vacuum deposition method is formed in the top face of a part in which the insulating layer 112 is not formed among the side faces of an insulating layer 112 and the pillar-shaped section 110. Subsequently, patterning of said alloy layer is carried out using the photolithography method, the up electrode 113 is formed, and the lower electrode 115 which consists of an alloy of gold and germanium is further formed in the rear face (the field which forms a resonator 120 in the semi-conductor substrate 101, and field of an opposite hand) of the semi-conductor substrate 101 with a vacuum deposition method. Finally the structure obtained according to the above-

mentioned process is heat-treated at 350 degrees C, and ohmic contact of the up electrode 113, a resonator 120, and the lower electrode 115 is carried out. The surface emission-type laser 100 shown in drawing 1 is obtained through the above process.

[0054] (Structure of a device) The surface emission-type laser 100 obtained according to the manufacture process mentioned above is shown in drawing 1 - drawing 3. Drawing 1 is drawing showing typically the important section of the flat surface which looked at the surface emission-type laser 100 concerning the gestalt of this operation from the side which counters outgoing radiation opening of a laser beam. Drawing 2 is the sectional view which cut the surface emission-type laser 100 shown in drawing 1 along with the A-A line of drawing 1. Drawing 3 is drawing showing typically the cross section at the time of cutting the surface emission-type laser 100 shown in drawing 1 in respect of the current constriction layer 111 being included.

[0055] In the surface emission-type laser 100, the resonator 120 containing the pillar-shaped section 110 is formed on the semi-conductor substrate 101 which has indices of crystal plane (100). The laminating of the lower mirror 103, a barrier layer 105, and the up mirror 108 is carried out, and the resonator 120 is formed. The up electrode 113 which consists of an alloy of gold and zinc is formed in the top face of the pillar-shaped section 110. Moreover, in the semi-conductor substrate 101, the lower electrode 115 which consists of an alloy of gold and germanium is formed in the field in which the resonator 120 is formed, and the field of an opposite hand.

[0056] The current constriction layer 111 is formed in the pillar-shaped section 110, and as mentioned above, in the field containing the current constriction layer 111, the configuration of the periphery 140 of the pillar-shaped section 110 contains a part of configuration of inner circumference marginal 111a of the current constriction layer 111, and the arc-shaped configuration section 140a1,140a2,140a3,140a4 to approximate.

[0057] The arc-shaped configuration section 140a1,140a2,140a3,140a4 is formed in the <010> directions, the <001> directions, the <0-10> direction, and the <00-1> direction, respectively from the core of inner circumference marginal 111a of the current constriction layer 111. Moreover, the arc-shaped configuration section 140a1,140a2,140a3,140a4 is mostly formed in concentric circular with a part of configuration of inner circumference marginal 111a of the current constriction layer 111. Namely, the arc-shaped configuration section 140a1,140a2,140a3,140a4 Inner circumference marginal 111a of the current constriction layer 111 From the core of inner circumference marginal 111a of the current constriction layer 111 to the <01-1> direction The arc-shaped configuration section 111a1,111a2,111a3,111a4 which divides into one fourth of inner circumference marginal 111a, respectively, and is obtained in the <011> directions, the <0-11> direction, and the <01-1> direction It is in the condition made to project in the <010> directions, the <001> directions, the <0-10> direction, and the <00-1> direction, respectively.

[0058] Furthermore The distance 111 between the arc-shaped configuration section 111a1 and the arc-shaped configuration section 140a1, The distance 112 between the arc-shaped configuration section 111a2 and the arc-shaped configuration section 140a2, the distance 113 between the arc-shaped configuration section 111a3 and the arc-shaped configuration section 140a3, and the distance 114 between the arc-shaped configuration section 111a4 and the arc-shaped configuration section 140a4 </SUB> are almost equal respectively.

[0059] Moreover, in the field containing the current constriction layer 111, as mentioned above, as shown in drawing 3 , the configuration of the periphery 140 of the pillar-shaped section 110 consists of the arc-shaped configuration section 140a1,140a2,140a3,140a4 and a segment 140b1,140b2,140b3,140b4 which connects those which adjoin among these arc-shaped configuration sections.

[0060] (Actuation of a device) General actuation of the surface emission-type laser 100 concerning the gestalt of this operation is shown below.

[0061] If the electrical potential difference of the forward direction is impressed to the pin diode which consists of an up mirror 108, a barrier layer 105, and a lower mirror 103 with the up electrode 113 and the lower electrode 115, in a barrier layer 105, recombination with an electron and an electron hole will

take place, and luminescence by said recombination will arise. Then, in case the produced light goes back and forth between the up mirror 108 and the lower mirrors 103, induced emission happens, and luminous intensity is amplified. If the Mitsutoshi profit turns around optical loss a top, laser oscillation will happen and outgoing radiation of the laser beam will be perpendicularly carried out from the opening 116 of the up electrode 113 to the semi-conductor substrate 101.

[0062] (An operation and effectiveness) Next, the operation and effectiveness in the surface emission-type laser 100 concerning the gestalt of this operation and its manufacture approach are explained.

[0063] (1) this invention person thought out a header and this invention for the anisotropy relevant to the crystal orientation of a semi-conductor substrate existing in the oxidation rate of the layer for current constriction stratification, as a result of repeating research wholeheartedly about oxidation of the layer for current constriction stratification at the time of forming a current constriction layer. Namely, according to the manufacture approach of the surface emission-type laser 100 concerning the gestalt of this operation It takes into consideration that the anisotropy relevant to the crystal orientation of the semi-conductor substrate 101 exists in the oxidation rate of the layer 107 for current constriction stratification. The pillar-shaped section 110 in which designed beforehand the configuration and magnitude of inner circumference marginal 111a of the current constriction layer 111 which are formed at a next process, and the configuration and magnitude of inner circumference marginal 111a of the current constriction layer 111 which were designed were made to reflect is formed. Thus, by oxidizing the layer 107 for current constriction stratification from the side face of the obtained pillar-shaped section 110, the current constriction layer 111 in which inner circumference marginal 111a has a desired configuration and magnitude is obtained. In the production process of the surface emission-type laser concerning the gestalt of this operation, the surface emission-type laser 100 containing the current constriction layer 111 from which inner circumference marginal 111a constitutes a perfect circle form is obtained. For this reason, according to this surface emission-type laser 100, the laser beam which has the shape of beam more near a perfect circle can be obtained efficiently.

[0064] On the other hand, for example, it is formed on the semi-conductor substrate which has indices of crystal plane (100), and sets on common field luminescence laser (refer to drawing 10 ) with the circular flat-surface configuration of the pillar-shaped section 510. The configuration of inner circumference marginal 511a of the current constriction layer 511 becomes a thing reflecting the configuration of the periphery 540 of the pillar-shaped section 510 as a result to which priority is given in the <010> directions mentioned above, the <001> directions, the <0-10> direction, and the direction of the <00-1> direction, and oxidation advances. That is, the configuration of inner circumference marginal 511a of the current constriction layer 511 has the almost same curvature as the configuration of the periphery 540 of the pillar-shaped section 510. For this reason, the configuration of inner circumference marginal 511a of the current constriction layer 511 does not become perfect circle-like, but as shown in drawing 1010 , it turns into a configuration near a rhombus. Thus, unless the configuration of inner circumference marginal 511a of the current constriction layer 511 is a perfect circle-like, the laser beam of the configuration near a perfect circle cannot be obtained efficiently. Therefore, such field luminescence laser may not be suitable for using as the light source of the optical communication which used the optical fiber.

[0065] (2) According to it being almost equal respectively, the distance from the core of inner circumference marginal 111a of the current constriction layer 111 to the arc-shaped configuration section 140a1,140a2,140a3,140a4 Since the layer 107 for current constriction stratification oxidizes almost equally to the <010> directions, the <001> directions, the <0-10> direction, and the <00-1> direction, the configuration of inner circumference marginal 111a of the current constriction layer 111 can be brought more close to a perfect circle form.

[0066] (3) In the field containing the current constriction layer 111, the configuration of the periphery 140 of the pillar-shaped section 110 except the arc-shaped configuration section 140a1,140a2,140a3,140a4 includes the segment 140b1,140b2,140b3,140b4 which connects those which adjoin among these arc-shaped configuration sections. In a surface emission-type laser 100, it is desirable to form the part excluding [ the configuration of the periphery 140 of the pillar-shaped section

110 ] the arc-shaped configuration section 140a1,140a2,140a3,140a4 outside a segment 140b1,140b2,140b3,140b4. According to this configuration, oxidation of the layer 107 for current constriction stratification can be controlled, and the current constriction layer 111 which has a desired configuration and magnitude can be obtained.

[0067] (Gestalt of the 2nd operation)

(Structure of a device) Drawing 8 is the sectional view showing typically the surface emission-type laser 200 concerning the gestalt of operation of the 2nd of this invention.

[0068] The surface emission-type laser 200 concerning the gestalt of the 2nd operation has the almost same configuration as the surface emission-type laser 100 concerning the gestalt of the 1st operation in the field containing the current constriction layer 211 except for the point that the configuration of the periphery 240 of the pillar-shaped section 210 except 240a1,240a2,240a3,240a4 configuration section 4 arc-shaped part is a curve-like, as shown in drawing 8 .

[0069] A surface emission-type laser 200 has the pillar-shaped section 210 and the current constriction layer 211. The pillar-shaped section 210 and the current constriction layer 211 have the same function as the pillar-shaped section 110 and the current constriction layer 111 which are contained in the surface emission-type laser 100 concerning the gestalt of the 1st operation.

[0070] Moreover, if its attention is paid to the configuration of the pillar-shaped section 210, the configuration of the periphery 240 of the pillar-shaped section 210 is a point containing the arc-shaped configuration section 240a1,240a2,240a3,240a4, and is the same as the configuration of the periphery 140 of the pillar-shaped section 110. Similarly The distance l21 between the arc-shaped configuration section 211a1 and the arc-shaped configuration section 240a1, The distance l22 between the arc-shaped configuration section 211a2 and the arc-shaped configuration section 240a2, the distance l23 between the arc-shaped configuration section 211a3 and the arc-shaped configuration section 240a3, and the distance l24 between the arc-shaped configuration section 211a4 and the arc-shaped configuration section 240a4 are almost equal respectively.

[0071] The line which, on the other hand, connects those which adjoin among the arc-shaped configuration sections 240a1,240a2,240a3,240a4 in the configuration of the periphery 240 of the pillar-shaped section 210 is constituted by the curve 240b1,240b2,240b3,240b4, and it differs from the configuration of the periphery 140 of the pillar-shaped section 110 constituted by the straight line 140b1,140b2,140b3,140b4 in the point that the whole configuration of a periphery 240 is a false circle configuration.

[0072] (Manufacture process of a device) In case the manufacture approach of the surface emission-type laser 200 concerning the gestalt of the 2nd operation forms the pillar-shaped section 210, as shown in drawing 8 , it is the same as the manufacture approach of the surface emission-type laser 100 concerning the gestalt of the 1st operation almost in the field containing the current constriction layer 211 except forming the pillar-shaped section 210 so that the configuration of the periphery 240 of the pillar-shaped section 210 may become curve-like. Therefore, the explanation about a production process is omitted.

[0073] (Actuation of a device, an operation, and effectiveness) The surface emission-type laser 200 concerning the 2nd gestalt has the same actuation as the surface emission-type laser 100 concerning the gestalt of the 1st operation, an operation, and effectiveness. Therefore, the explanation is omitted.

[0074] (Gestalt of the 3rd operation)

(Structure of a device) Drawing 9 is the sectional view showing typically the surface emission-type laser 300 concerning the gestalt of operation of the 3rd of this invention.

[0075] The surface emission-type laser 300 concerning the gestalt of the 3rd operation has the almost same configuration as the surface emission-type laser 200 concerning the gestalt of the 2nd operation except for the point that the distortion adjunct 330 for making a barrier layer (not shown) generate distortion is formed in the pillar-shaped section 310. The configuration of the periphery 340 of the pillar-shaped section 310 is constituted like the pillar-shaped section 210 including the curve 340b1,340b2,340b3,340b4 which connects the arc-shaped configuration section 340a1,340a2,340a3,340a4 and said adjoining arc-shaped configuration sections. Furthermore The distance l31 between the arc-shaped configuration section 311a1 and the arc-shaped configuration

section 340a1, The distance l32 between the arc-shaped configuration section 311a2 and the arc-shaped configuration section 340a2, the distance l33 between the arc-shaped configuration section 311a3 and the arc-shaped configuration section 340a3, and the distance l34 between the arc-shaped configuration section 311a4 and the arc-shaped configuration section 340a4 are almost equal respectively.

[0076] A surface emission-type laser 300 has the pillar-shaped section 310 and the current constriction layer 311. The pillar-shaped section 310 and the current constriction layer 311 have the same function as the pillar-shaped section 210 and the current constriction layer 211 which are contained in the surface emission-type laser 200 concerning the gestalt of the 2nd operation. The pillar-shaped section 310 has the same configuration and structure as the pillar-shaped section 210 except for the distortion adjunct 330.

[0077] (Manufacture process of a device) As shown in drawing 9 , in case the manufacture approach of the surface emission-type laser 300 concerning the gestalt of the 3rd operation forms the pillar-shaped section 310, it is the same as the manufacture approach of the surface emission-type laser 200 concerning the gestalt of the 2nd operation almost except forming the distortion adjunct 330 in the pillar-shaped section 310. Therefore, the explanation about a production process is omitted.

[0078] (Actuation of a device, an operation, and effectiveness) Actuation of the surface emission-type laser 300 concerning the 3rd gestalt is the same as actuation of the surface emission-type laser 100,200 concerning the gestalt of the 1st and the 2nd operation. Therefore, the explanation is omitted.

[0079] Moreover, the operation and effectiveness of a surface emission-type laser 300 concerning the gestalt of the 3rd operation are the same as the operation and effectiveness of a surface emission-type laser 100,200 concerning the gestalt of the 1st and the 2nd operation almost, and have the effectiveness of further the following.

[0080] In the surface emission-type laser 300 concerning the gestalt of the 3rd operation, laser luminescence which polarized in the direction vertical to the direction where the distortion adjunct 330 is beginning to be prolonged can be obtained by forming the distortion adjunct 330 in the pillar-shaped section 310. It is the thing of the <01-1> direction indicated to be the direction where the distortion adjunct 330 is beginning to be prolonged to drawing 9 here, and the <0-11> direction, and is the thing of the <011> directions indicated to be a direction vertical to the direction where the distortion adjunct 330 is beginning to be prolonged to drawing 9 , and the <0-1-1> direction.

[0081] In addition, the distortion adjunct 330 is formed among the peripheries of the pillar-shaped section 310 in addition to the arc-shaped part currently formed configuration section 340a1,340a2,340a3,340a4. For this reason, polarization of a laser beam can be controlled, without affecting the configuration of the current constriction layer 311.

[0082] In addition, even if it replaces p mold and n mold in each semi-conductor layer in the gestalt of the above-mentioned operation, it does not deviate from the meaning of this invention. Although the gestalt of the above-mentioned operation explained the thing of an aluminum-Ga-As system, it is also possible to use semiconductor materials, such as other ingredient systems, for example, an In-P system, an In-aluminum-As system, a Ga-In-As system, a Ga-In-N system, an aluminum-Ga-In-P system, a Ga-In-N-As system, an aluminum-Ga-In-As system, and a Ga-In-As-P system, according to oscillation wavelength.

[0083] Moreover, the actuation approach of the surface emission-type laser in the gestalt of the above-mentioned operation is an example, and various modification is possible for it unless it deviates from the meaning of this invention. Moreover, although the gestalt of the above-mentioned operation shows the surface emission-type laser the number of the pillar-shaped sections is [ surface emission-type laser ] one, even if there are two or more pillar-shaped sections in a substrate side, the gestalt of this invention is not spoiled.

---

[Translation done.]

**\* NOTICES \***

JPO and NCIP are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

---

**DESCRIPTION OF DRAWINGS**

---

**[Brief Description of the Drawings]**

[Drawing 1] It is drawing showing typically the important section of the flat surface which looked at the field luminescence mold semiconductor laser concerning the gestalt of operation of the 1st of this invention from the side which counters outgoing radiation opening of a laser beam.

[Drawing 2] It is drawing showing typically the cross section which met the A-A line of field luminescence mold semiconductor laser shown in drawing 1.

[Drawing 3] It is drawing showing typically the cross section at the time of cutting the field luminescence mold semiconductor laser shown in drawing 1 in respect of a current constriction layer being included.

[Drawing 4] It is the sectional view showing typically the 1st process of the manufacture approach of the field luminescence mold semiconductor laser concerning the gestalt of operation of the 1st of this invention.

[Drawing 5] It is the sectional view showing typically the 2nd process of the manufacture approach of the field luminescence mold semiconductor laser concerning the gestalt of operation of the 1st of this invention.

[Drawing 6] It is the sectional view showing typically the 3rd process of the manufacture approach of the field luminescence mold semiconductor laser concerning the gestalt of operation of the 1st of this invention.

[Drawing 7] It is drawing showing typically the cross section at the time of cutting the pillar-shaped section formed in the production process of the field luminescence mold semiconductor laser concerning the gestalt of operation of the 1st of this invention in the field containing the layer for current constriction stratification.

[Drawing 8] It is drawing showing typically the cross section at the time of cutting the field luminescence mold semiconductor laser concerning the gestalt of operation of the 2nd of this invention in respect of a current constriction layer being included.

[Drawing 9] It is drawing showing typically the cross section at the time of cutting the field luminescence mold semiconductor laser concerning the gestalt of operation of the 3rd of this invention in respect of a current constriction layer being included.

[Drawing 10] It is drawing showing typically the cross section at the time of cutting the pillar-shaped section of general field luminescence mold semiconductor laser in respect of a current constriction layer being included.

**[Description of Notations]**

100,200,300 Field luminescence mold semiconductor laser (surface emission-type laser)

101 Semi-conductor Substrate

102 Buffer Layer

103 Lower Mirror

104,104a Cladding layer

105,105a Barrier layer

106,106a Cladding layer  
107,107a Layer for current constriction stratification  
107c Current valley layer  
108,108a Up mirror  
109,109a Contact layer  
110,210,310 Pillar-shaped section  
111,211,311 Current constriction layer  
111a, 211a, 311a Inner circumference edge of a current constriction layer  
111a1,111a2,111a3,111a4 The arc-shaped configuration section  
111x, 211x, 311x Circle  
111x1,111x2,111x3,111x4 The arc-shaped configuration section  
112 Insulating Layer  
113 Up Electrode  
115 Lower Electrode  
116 Opening  
120 Resonator  
140,240,340 Periphery of the pillar-shaped section  
140a1,140a2,140a3,140a4 The arc-shaped configuration section  
140b1,140b2,140b3,140b4 Segment  
150 Semi-conductor Deposit  
211a1,211a2,211a3,211a4 The arc-shaped configuration section  
240a1,240a2,240a3,240a4 The arc-shaped configuration section  
311a1,311a2,311a3,311a4 The arc-shaped configuration section  
330 Distortion Adjunct  
340a1,340a2,340a3,340a4 The arc-shaped configuration section

---

[Translation done.]

**\* NOTICES \***

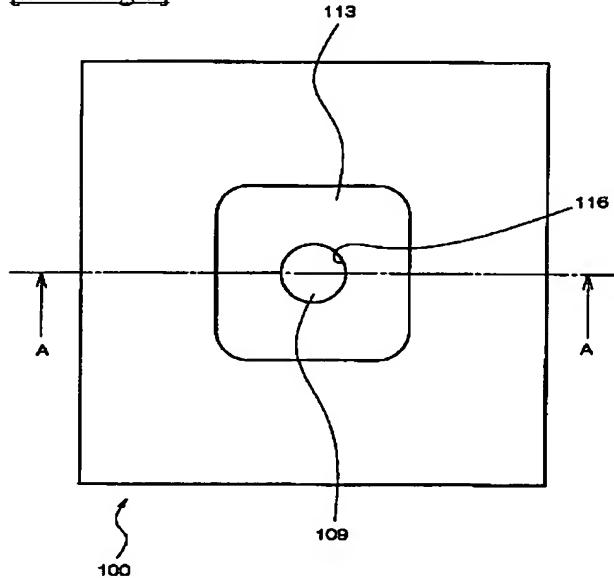
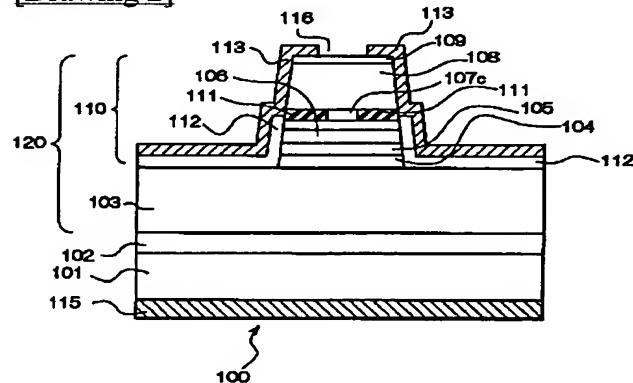
JPO and NCIP are not responsible for any  
damages caused by the use of this translation.

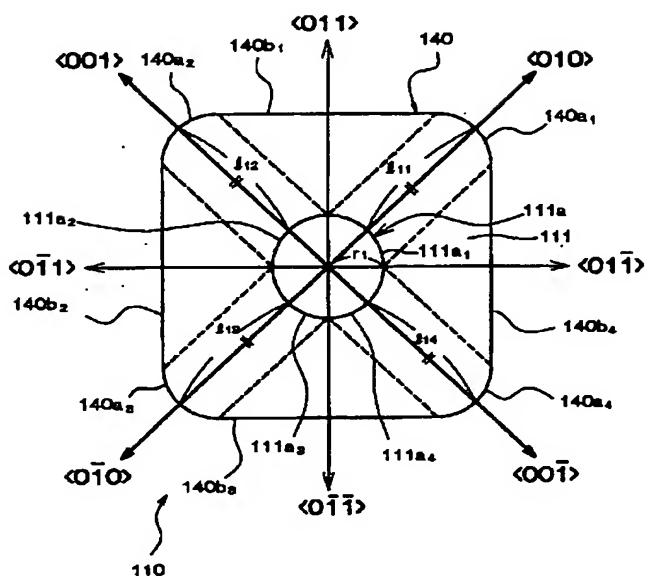
1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

---

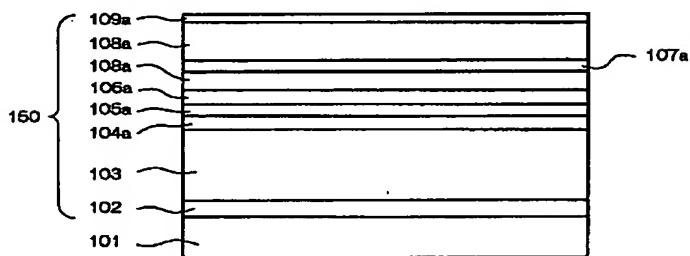
**DRAWINGS**

---

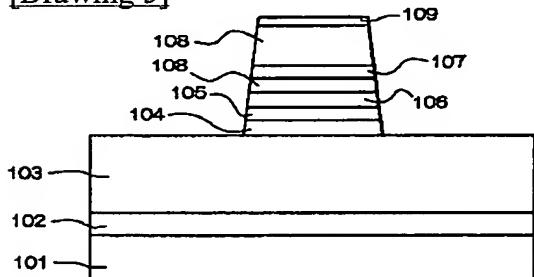
**[Drawing 1]****[Drawing 2]****[Drawing 3]**



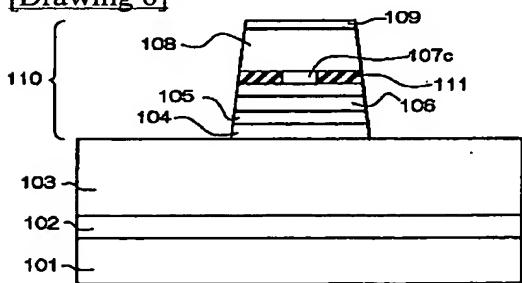
### [Drawing 4]



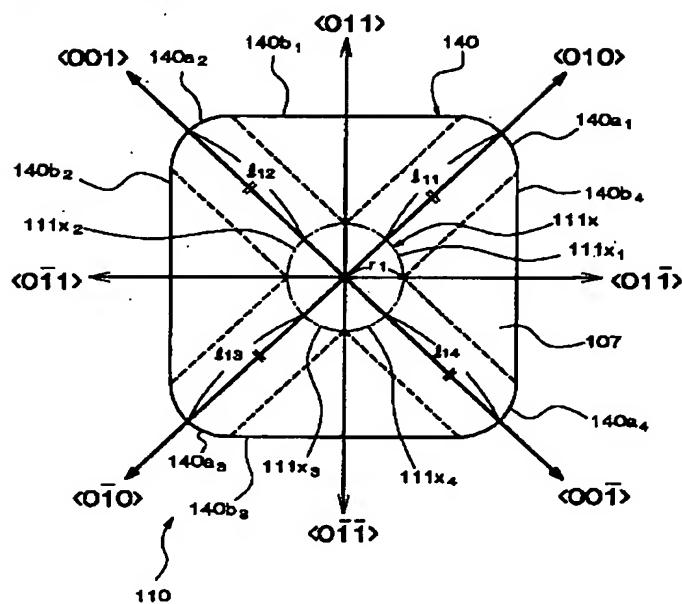
[Drawing 5]



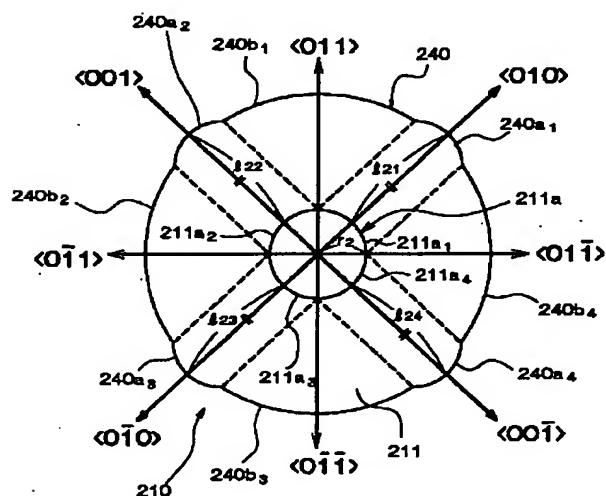
### [Drawing 6]



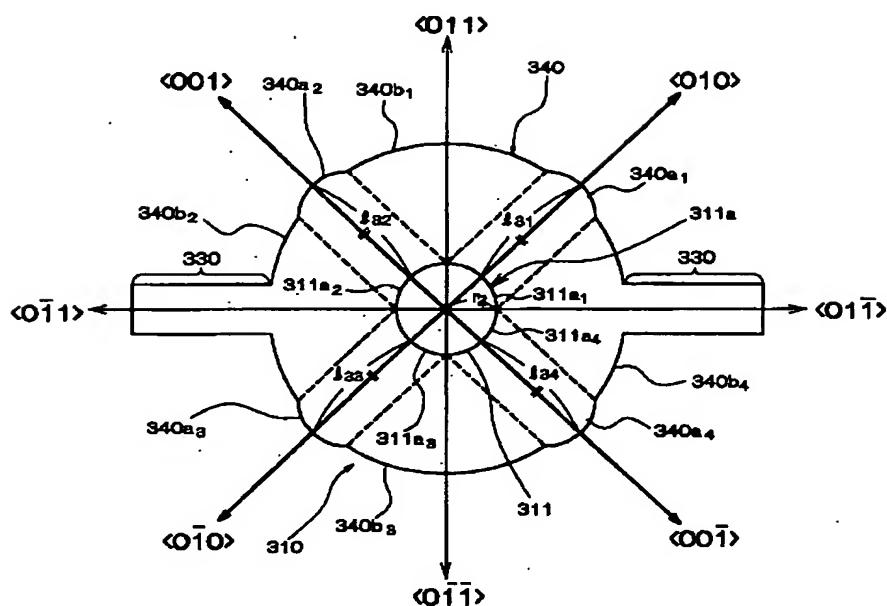
[Drawing 7]



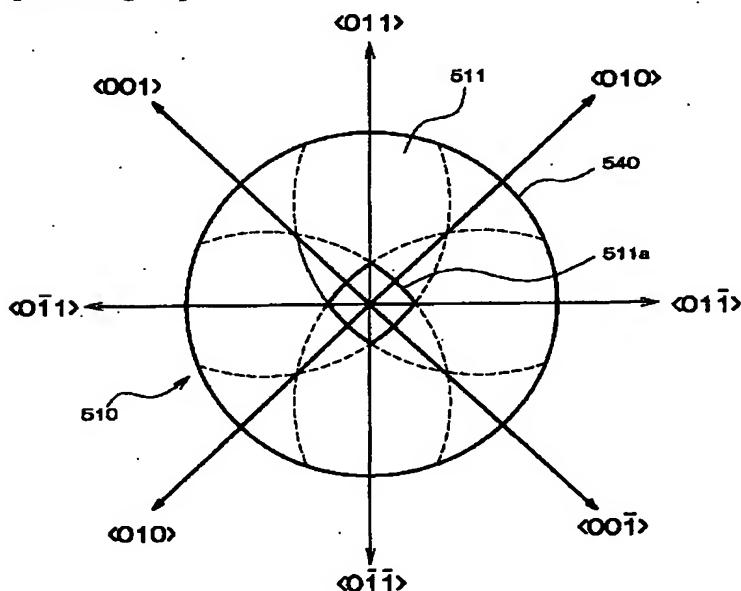
[Drawing 8]



[Drawing 9]



[Drawing 10]



[Translation done.]

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2001-284727

(P2001-284727A)

(43)公開日 平成13年10月12日 (2001.10.12)

(51)Int.Cl.<sup>7</sup>

H01S 5/183  
5/343

識別記号

F I

H01S 5/183  
5/343

テマコト<sup>®</sup>(参考)

5F073

審査請求 未請求 請求項の数16 OL (全12頁)

(21)出願番号 特願2000-91803(P2000-91803)

(22)出願日 平成12年3月29日 (2000.3.29)

(71)出願人 000002369

セイコーエプソン株式会社

東京都新宿区西新宿2丁目4番1号

(72)発明者 金子 剛

長野県諏訪市大和3丁目3番5号 セイコーエプソン株式会社内

(72)発明者 近藤 貴幸

長野県諏訪市大和3丁目3番5号 セイコーエプソン株式会社内

(74)代理人 100090479

弁理士 井上 一 (外2名)

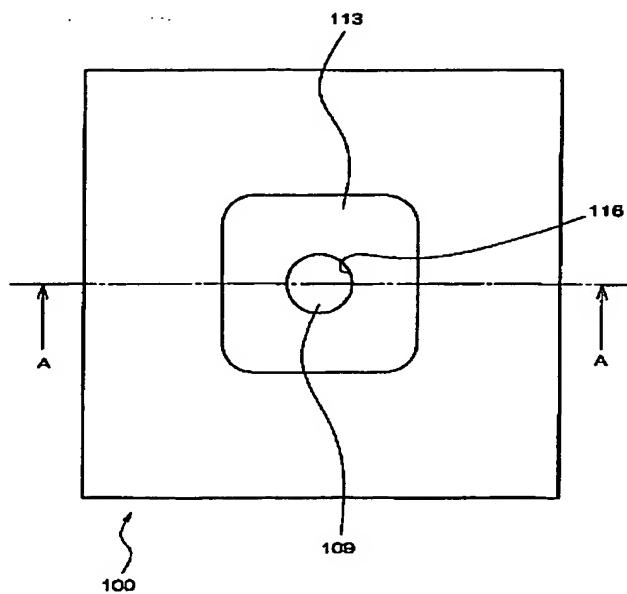
最終頁に続く

(54)【発明の名称】面発光型半導体レーザおよびその製造方法

(57)【要約】

【課題】 単一横モードであり、かつより真円に近いビーム形状を有するレーザ光を効率よく得ることができる面発光型半導体レーザおよびその製法方法を提供する。

【解決手段】 本発明の面発光型半導体レーザ100は面指數(100)を有する半導体基板101上に共振器120が形成されている。共振器120は柱状部110を含み、柱状部110には電流狭窄層111が形成されている。電流狭窄層111を含む面において、柱状部110の周縁140の形状は電流狭窄層111の内周縁111aの形状の一部と近似する弧状の形状部140a1～140a4を含む。これらは電流狭窄層111の内周縁111aの中心から<010>方向、<001>方向、<0-10>方向、<00-1>方向にそれぞれ形成され、かつ内周縁111aの形状の一部とほぼ同心円状に形成されている。



(2)

2

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 面指数(100)を有する半導体基板上に共振器が形成され、該共振器から前記半導体基板と垂直方向へレーザ光を出射する面発光型半導体レーザであって、

前記共振器は、少なくとも一部に柱状の半導体堆積体を含み、

前記柱状の半導体堆積体は電流狭窄層を含み、

前記電流狭窄層を含む面において、前記柱状の半導体堆積体の周縁の形状が前記電流狭窄層の内周縁の形状の一部と近似する弧状の形状部を含み、

前記弧状の形状部は、前記電流狭窄層の内周縁の中心から<010>方向、<001>方向、<0-10>方向、および<00-1>方向にそれぞれ形成されている、面発光型半導体レーザ。

【請求項2】 請求項1において、

前記電流狭窄層の内周縁の形状の一部と前記弧状の形状部とがほぼ同心円状に形成されている、面発光型半導体レーザ。

【請求項3】 請求項1または2において、

前記弧状の形状部は、前記電流狭窄層の内周縁を、前記電流狭窄層の内周縁の中心から<01-1>方向、<011>方向、<0-11>方向、および<0-1-1>方向にそれぞれ分割して得られる形状を、それぞれ<010>方向、<001>方向、<0-10>方向、および<00-1>方向へと投射させた状態である、面発光型半導体レーザ。

【請求項4】 請求項1～3のいずれかにおいて、

前記電流狭窄層の内周縁の中心から前記弧状の形状部までの距離がそれぞれほぼ等しい、面発光型半導体レーザ。

【請求項5】 請求項1～4のいずれかにおいて、

前記弧状の形状部は、前記電流狭窄層の内周縁を1/4に分割した形状を有する、面発光型半導体レーザ。

【請求項6】 請求項1～5のいずれかにおいて、

前記電流狭窄層を含む面において、前記弧状の形状部を除く前記柱状の半導体堆積体の周縁が、隣接する前記弧状の形状部同士を結ぶ線分から外側に形成されている、面発光型半導体レーザ。

【請求項7】 請求項1～6のいずれかにおいて、

前記電流狭窄層を含む面において、前記弧状の形状部を除く前記柱状の半導体堆積体の周縁が曲線状である、面発光型半導体レーザ。

【請求項8】 請求項1～7のいずれかにおいて、

前記電流狭窄層を含む面において、前記弧状の形状部を除く前記柱状の半導体堆積体の周縁が直線状である、面発光型半導体レーザ。

【請求項9】 請求項1～8のいずれかにおいて、

前記活性層に歪みを発生させるための歪み付加部が、前記柱状の半導体堆積体に形成され、

10 (a) 面指数(100)を有する半導体基板の表面に、電流狭窄層を形成するための層を含む半導体堆積層を積層する工程、

(b) 前記半導体堆積層をエッチングして柱状の半導体堆積体を形成する工程であって、

前記電流狭窄層を形成するための層を含む面において、電流狭窄層の内周縁の形状を所定の形状に設計しておき、設計された前記電流狭窄層の内周縁の中心からそれぞれ<010>方向、<001>方向、<0-10>方向、および<00-1>方向に、設計された前記電流狭窄層の内周縁の形状の一部と近似する弧状の形状部をその周縁に含む前記柱状の半導体堆積体を形成する工程、および

20 (c) 前記電流狭窄層を形成するための層を側面から酸化することにより、該電流狭窄層を形成するための層から、設計された所定の形状とほぼ同様の形状を有する電流狭窄層を形成する工程。

【請求項12】 請求項11において、

前記工程(b)において、

設計された前記電流狭窄層の内周縁の形状の一部とほぼ同心円状に、前記弧状の形状部を形成する、面発光型半導体レーザの製造方法。

【請求項13】 請求項11または12において、

前記工程(b)において、

設計された前記電流狭窄層の内周縁の中心から<01-1>方向、<011>方向、<0-11>方向、および<0-1-1>方向に前記電流狭窄層の内周縁を分割して得られる形状を、それぞれ<010>方向、<001>方向、<0-10>方向、および<00-1>方向へと投射させて、前記弧状の形状部を形成する、面発光型半導体レーザの製造方法。

40 【請求項14】 請求項11～13のいずれかにおいて、前記工程(b)において、

設計された前記電流狭窄層の内周縁の中心から前記弧状の形状部までの距離がほぼ等しくなるように形成する、面発光型半導体レーザ。

【請求項15】 請求項11～14のいずれかにおいて、

前記工程(b)において、

前記弧状の形状部を、設計された前記電流狭窄層の内周縁の形状の1/4に形成する、面発光型半導体レーザの製造方法。

(3)

3

【請求項 16】 請求項 11～15 のいずれかにおいて、

前記工程 (b) において、

設計された前記電流狭窄層を含む面において、前記弧状の形状部を除く前記柱状の半導体堆積体の周縁を、隣接する前記弧状の形状部同士を結ぶ線分から外側に形成する、面発光型半導体レーザの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、半導体基板に対して垂直にレーザ光を出射する面発光型半導体レーザおよびその製造方法に関する。

【0002】

【背景技術】 面発光型半導体レーザは、半導体基板に対して垂直にレーザ光を出射する半導体レーザであり、半導体基板上に垂直方向に共振器が設けられている。この共振器は、レーザ光を発振させた後出射させるものであり、反射層、活性層、反射層が順に積層されて構成される。

【0003】 面発光型半導体レーザを高効率化する手段の一つとして、前記反射層の一部に電流狭窄層が形成された構造が提案され、広く用いられている。この電流狭窄層は、前記反射層の一部に、AlAs 層からなる電流狭窄層形成用層（電流狭窄層を形成するための層）を形成した後、かかる電流狭窄層形成用層を側面から酸化することにより形成される。ここで、電流狭窄層の内側には酸化されなかつた電流狭窄層形成用層が残存する。このため、電流狭窄層は内周縁および外周縁を有する、いわゆるドーナツ形状を有する。

【0004】 また、面発光型半導体レーザの優れた特徴の一つとして、端面レーザに比べてレーザ放射角が等方的であり、かつ小さいことが挙げられる。このため、面発光型半導体レーザは、光ファイバ通信や光並列情報処理等において、光源としての応用が期待されている。

【0005】 なかでも、例えば光ファイバを用いた光通信の光源に面発光型半導体レーザを用いる場合、光ファイバとのカップリング効率を考慮すると、面発光型半導体レーザから出射されるレーザ光が、単一横モードであり、かつ、より真円に近いビーム形状を有することが望ましい。このようなビーム形状を有する面発光型半導体レーザを得るために、前述した電流狭窄層の内周部がより真円に近い形状を有することが望ましい。

【0006】 しかしながら、前述したように、電流狭窄層は、電流狭窄層形成用層を側面から酸化することにより形成されるため、酸化の条件によっては、内周縁をより真円に近い形状に制御することが難しい場合があった。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】 本発明の目的は、単一横モードであり、かつ、より真円に近いビーム形状を有

(3)

4

するレーザ光を効率よく得ることができる面発光型半導体レーザおよびその製法方法を提供することにある。

【0008】

【課題を解決するための手段】 (A) 本発明の面発光型半導体レーザは、面指数 (100) を有する半導体基板上に共振器が形成され、該共振器から前記半導体基板と垂直方向へレーザ光を出射する面発光型半導体レーザであって、前記共振器は、少なくとも一部に柱状の半導体堆積体を含み、前記柱状の半導体堆積体は電流狭窄層を含み、前記電流狭窄層を含む面において、前記柱状の半導体堆積体の周縁の形状が前記電流狭窄層の内周縁の形状の一部と近似する弧状の形状部を含み、前記弧状の形状部は、前記電流狭窄層の内周縁の中心から <010> 方向、<001> 方向、<0-10> 方向、および <0-1> 方向にそれぞれ形成されている。

【0009】 本願にいう面指数 (100) を有する半導体基板とは、厳密に面指数 (100) を有する半導体基板だけでなく、(100) 面に対して微小角度 (5° 程度まで) 傾いた基板表面を有する傾斜基板も含む。

【0010】 また、本願にいう <010> 方向、<001> 方向、<0-10> 方向、および <00-1> 方向とは、面指数 (100) を有する半導体基板における結晶方位をいう。

【0011】かかる面発光型半導体レーザによれば、より真円に近いビーム形状を有するレーザ光を得ることができる。詳しくは、本発明の実施の形態の欄で詳述する。

【0012】 前記面発光型半導体レーザの好ましい態様としては、(1)～(9)を例示できる。

【0013】 (1) 前記電流狭窄層の内周縁の形状の一部と前記弧状の形状部とがほぼ同心円状に形成されていることが望ましい。

【0014】 (2) 前記弧状の形状部は、前記電流狭窄層の内周縁を、前記電流狭窄層の内周縁の中心から <01-1> 方向、<011> 方向、<0-11> 方向、および <0-1-1> 方向にそれぞれ分割して得られる形状を、それぞれ <010> 方向、<001> 方向、<0-10> 方向、および <00-1> 方向へと投射させた状態であることが望ましい。

【0015】 本願にいう <01-1> 方向、<011> 方向、<0-11> 方向、および <0-1-1> 方向とは、面指数 (100) を有する半導体基板における結晶方位をいう。

【0016】 この構成によれば、前述した効果を得ることができる。

【0017】 (3) 前記電流狭窄層の内周縁の中心から前記弧状の形状部までの距離をそれぞれほぼ等しくすることができる。

【0018】 (4) 前記弧状の形状部を、前記電流狭窄層の内周縁を 1/4 に分割した形状にすることができ

(4)

5

る。

【0019】(5) 前記電流狭窄層を含む面において、前記弧状の形状部を除く前記柱状の半導体堆積体の周縁を、隣接する前記弧状の形状部同士を結ぶ線分から外側に形成することができる。この構成によれば、前記柱状の半導体堆積体を側面から酸化して前記電流狭窄層を形成する場合に、前記電流狭窄層の形状を円形に制御することができる。

【0020】(6) 前記電流狭窄層を含む面において、前記弧状の形状部を除く前記柱状の半導体堆積体の周縁を曲線状にすることができる。

【0021】(7) 前記電流狭窄層を含む面において、前記弧状の形状部を除く前記柱状の半導体堆積体の周縁を直線状にすることができる。

【0022】(8) 前記活性層に歪みを発生させるための歪み付加部が、前記柱状の半導体堆積体に形成され、前記電流狭窄層を含む面において、前記歪み付加部を、前記弧状の形状部を除く前記柱状の半導体堆積体の周縁に形成することができる。

【0023】この構成によれば、前記歪み付加部が前記柱状の半導体堆積体に形成されていることにより、レーザ光の偏光を制御することができる。

【0024】(9) 前記電流狭窄層の内周縁を真円形にすることができます。

【0025】(B) 本発明にかかる面発光型半導体レーザの製造方法は、以下の工程(a)～(c)を含む。

【0026】(a) 面指数(100)を有する半導体基板の表面に、電流狭窄層を形成するための層を含む半導体堆積層を積層する工程、(b) 前記半導体堆積層をエッチングして柱状の半導体堆積体を形成する工程であつて、前記電流狭窄層を形成するための層を含む面において、電流狭窄層の内周縁の形状を所定の形状に設計しておき、設計された前記電流狭窄層の内周縁の中心からそれぞれ<010>方向、<001>方向、<0-10>方向、および<00-1>方向に、設計された前記電流狭窄層の内周縁の形状の一部と近似する弧状の形状部をその周縁に含む前記柱状の半導体堆積体を形成する工程、および(c) 前記電流狭窄層を形成するための層を側面から酸化することにより、該電流狭窄層を形成するための層から、設計された所定の形状とほぼ同様の形状を有する電流狭窄層を形成する工程。

【0027】かかる製造方法によれば、はじめに電流狭窄層の内周縁の形状を所定の形状に設計しておき、設計された電流狭窄層の内周縁の形状に基づいて、その周縁が所定の形状を有する前記柱状の半導体堆積体を形成する。すなわち、前記電流狭窄層の内周縁の形状が反映された周縁の形状を有する前記柱状の半導体堆積体を形成することにより、設計された所定の形状とほぼ同様の形状の内周縁を有する電流狭窄層を形成することができる。特に、電流狭窄層の内周縁を円形に形成することに

6

より、より真円に近いビーム形状を有するレーザ光を射する面発光型半導体レーザを得ることができる。

【0028】前記面発光型半導体レーザの製造方法の好ましい態様としては、(1)～(5)を例示できる。

【0029】(1) 前記工程(b)において、設計された前記電流狭窄層の内周縁の形状の一部とほぼ同心円状に、前記弧状の形状部を形成することができる。

【0030】(2) 前記工程(b)において、設計された前記電流狭窄層の内周縁の中心から<01-1>方向、<011>方向、<0-11>方向、および<0-1-1>方向に前記電流狭窄層の内周縁を分割して得られる形状を、それぞれ<010>方向、<001>方向、<0-10>方向、および<00-1>方向へと投射させて、前記弧状の形状部を形成することができる。

【0031】(3) 前記工程(b)において、設計された前記電流狭窄層の内周縁の中心から前記弧状の形状部までの距離がほぼ等しくなるように形成することができる。

【0032】(4) 前記工程(b)において、前記弧状の形状部を、設計された前記電流狭窄層の内周縁の形状の1/4に形成することができる。

【0033】(5) 前記工程(b)において、設計された前記電流狭窄層を含む面において、前記弧状の形状部を除く前記柱状の半導体堆積体の周縁を、隣接する前記弧状の形状部同士を結ぶ線分から外側に形成することができる。

【0034】

【発明の実施の形態】以下、本発明の好適な実施の形態について、図面を参照しながら説明する。

【0035】(第1の実施の形態)

(デバイスの製造プロセス) まず、本発明の第1の実施の形態にかかる面発光型半導体レーザ100(以下、「面発光レーザ」という)の製造方法について、図4～7を用いて説明する。図4～6は、本実施の形態にかかる面発光レーザ100の製造工程を模式的に示す断面図である。図7は、図5に示す面発光レーザ100の製造工程において形成された柱状部110を、電流狭窄層形成用層107aを含む面において切断した場合の断面を模式的に示す図である。

【0036】本実施の形態にかかる面発光レーザ100の製造方法は、主に以下の工程(a)～(c)からなる。工程(a)は、面指数(100)を有する半導体基板101の表面に、電流狭窄層形成用層107aを含む半導体堆積層150を積層する工程である。工程(b)は、前記半導体堆積層150をエッチングして柱状部110を形成する工程である。かかる工程によって、電流狭窄層形成用層107aを含む面において、後の工程において形成する電流狭窄層111の内周縁111aの形状を所定の形状(図7に示す円111x)に設計しておき、設計された電流狭窄層111の内周縁の中心からそ

(5)

7

れぞれ<010>方向、<001>方向、<0-10>方向、および<00-1>方向に、設計された電流狭窄層111の内周縁の形状の一部と近似する弧状の形状部140a<sub>1</sub>、140a<sub>2</sub>、140a<sub>3</sub>、140a<sub>4</sub>をその周縁140に含む柱状部110を形成する。工程(c)は、電流狭窄層形成用層107を側面から酸化することにより、電流狭窄層形成用層107から、設計された所定の形状(円111x)とほぼ同様の形状を有する電流狭窄層111を形成する工程である。

【0037】以上の工程により図1に示す面発光レーザ100が得られる。

【0038】まず、工程(a)について説明する。

【0039】(a) n型GaAsからなり、面指数(100)を有する半導体基板101の表面に、組成を変調させながらエピタキシャル成長させることにより、図4に示される半導体堆積層150を形成する。ここで、半導体堆積層150とは、n型GaAsからなるバッファ層102、n型Al<sub>0.9</sub>Ga<sub>0.1</sub>As層とn型Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>As層とを交互に積層した下部ミラー103、n型Al<sub>0.5</sub>Ga<sub>0.5</sub>Asからなるn型クラッド層104a、GaAsウエル層とAl<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>Asバリア層からなり、ウエル層が3層で構成される多重井戸構造の活性層105a、Al<sub>0.5</sub>Ga<sub>0.5</sub>Asからなるp型クラッド層106a、p型AlAsからなる電流狭窄層107a、p型Al<sub>0.9</sub>Ga<sub>0.1</sub>As層とp型Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>As層とを交互に積層した上部ミラー108a、およびp型GaAsからなるコンタクト層109aをいい、これらの層を順に半導体基板101上に堆層させて半導体堆積層150を形成する。また、半導体基板101の表面とは、半導体基板101において、後の工程で共振器120を形成する側の面をいう。

【0040】ここで、後述する工程において柱状部110中に電流狭窄層111を形成するために、厚さ30nmのp型AlAsからなる電流狭窄層形成用層107aを、上部ミラー108a中に形成する。なお、電流狭窄層111を設置する位置はこの場所に限定されるわけではなく、p型クラッド層106aの直上から上部ミラー108aの膜厚の約1/2の位置までの間に設置されるのが望ましい。

【0041】エピタキシャル成長を行う際の温度は、半導体基板101の種類、あるいは形成する半導体堆積層150の種類や厚さによって適宜決定されるが、一般に、600~800°Cであるのが好ましい。また、エピタキシャル成長を行う際の所要時間も、温度と同様に適宜決定される。また、エピタキシャル成長させる方法としては、有機金属気相成長(MOVPE: Metal-Organic Vapor Phase Epitaxy)法や、MBE法(Molecular Beam Epitaxy)法、あるいはLPE法(Liquid Phase Epitaxy)を用いることができ

10

8

る。

【0042】続いて、工程(b)について説明する。

【0043】(b) 続いて、コンタクト層109a上に、フォトレジスト(図示しない)を塗布した後フォトマスクにより該フォトレジストをパターニングすることにより、所定のパターンのレジスト層(図示しない)を形成する。ついで、このレジスト層をマスクとしてドライエッチング法により、共振器120のうち面発光レーザ100のレーザ光出射側からn型クラッド層104aにかけての部分、すなわちコンタクト層109a、上部ミラー108a、電流狭窄層形成用層107a、p型クラッド層106a、活性層105a、およびn型クラッド層104aをエッチングして、図5に示される柱状部110を形成する。ここで、柱状部110とは、共振器120の一部であって、柱状の半導体堆積体をいう。以上により、レーザ光出射側から見て20μm四方の擬似矩形状にエッチングされて、コンタクト層109、上部ミラー108、電流狭窄層形成用層107、p型クラッド層106、活性層105、およびn型クラッド層104が形成される。なお、この工程において、エッチングされる層はこれらに限定されず、目的とする共振器の形状によって適宜決定されるものである。

【0044】ここで、エッチングにより形成する柱状部110の形状について、以下に詳しく述べる。

【0045】面指数(100)を有する半導体基板を用いて面発光レーザを形成する工程において、電流狭窄層形成用層の酸化により電流狭窄層を形成する場合、電流狭窄層形成用層の酸化速度には半導体基板の結晶方位と関連する異方性が存在する。具体的には、電流狭窄層形成用層の酸化速度は、<010>方向、<001>方向、<0-10>方向、および<00-1>方向が最も速く、これらの方向に優先して電流狭窄層が形成される。

【0046】本発明においては、前述した内容、すなわち、電流狭窄層形成用層107の酸化速度に半導体基板101の結晶方位と関連する異方性が存在することを踏まえ、所望する電流狭窄層111の内周縁111a(図3参照)の形状および大きさが、周縁140の形状に反映された柱状部110を形成する。

【0047】具体的には、まず、図7に示すように、電流狭窄層形成用層107を含む面において、その内周縁が内径r<sub>1</sub>の円111x(破線部)を構成する電流狭窄層111を形成することを想定する。すなわち、はじめに電流狭窄層111の内周縁の形状を設計しておく。続いて、設計された電流狭窄層111の内周縁の中心から<01-1>方向、<011>方向、<0-11>方向、および<0-1-1>方向に、円111xを分割して得られる弧状の形状部111x<sub>1</sub>、111x<sub>2</sub>、111x<sub>3</sub>、111x<sub>4</sub>を、それぞれ<010>方向、<001>方向、<0-10>方向、および<00-1>方向へ

(6)

9

と投射させて得られる弧状の形状部 140a<sub>1</sub>, 140a<sub>2</sub>, 140a<sub>3</sub>, 140a<sub>4</sub>を、その周縁 140 の形状に含む柱状部 110 を形成する。すなわち、弧状の形状部 140a<sub>1</sub>, 140a<sub>2</sub>, 140a<sub>3</sub>, 140a<sub>4</sub>はそれぞれ、弧状の形状部 111x<sub>1</sub>, 111x<sub>2</sub>, 111x<sub>3</sub>, 111x<sub>4</sub>とほぼ同じ大きさおよび形状であり、かつほぼ同心円状に形成される。

【0048】弧状の形状部 111x<sub>1</sub>, 111x<sub>2</sub>, 111x<sub>3</sub>, 111x<sub>4</sub>は、所望する電流狭窄層 111 の内周縁により構成される円 111x を 1/4 に分割して得られる形状を有する。したがって、弧状の形状部 140a<sub>1</sub>, 140a<sub>2</sub>, 140a<sub>3</sub>, 140a<sub>4</sub>も同様に、円 111x を 1/4 に分割して得られる形状を有する。さらに、弧状の形状部 140a<sub>1</sub>と 111x<sub>1</sub>との間の距離 l<sub>11</sub>, 140a<sub>2</sub>と 111x<sub>2</sub>との間の距離 l<sub>12</sub>, 140a<sub>3</sub>と 111x<sub>3</sub>との間の距離 l<sub>13</sub>, 140a<sub>4</sub>と 111x<sub>4</sub>との間の距離 l<sub>14</sub>がほぼ等しくなる位置に、弧状の形状部 140a<sub>1</sub>, 140a<sub>2</sub>, 140a<sub>3</sub>, 140a<sub>4</sub>が形成される。

【0049】また、電流狭窄層形成用層 107 を含む面において、図 7 に示すように、柱状部 110 の周縁 140 の形状は、弧状の形状部 140a<sub>1</sub>, 140a<sub>2</sub>, 140a<sub>3</sub>, 140a<sub>4</sub>を除く部分が、これらの弧状の形状部のうち隣接するもの同士を結ぶ線分 140b<sub>1</sub>, 140b<sub>2</sub>, 140b<sub>3</sub>, 140b<sub>4</sub>で構成される。本実施の形態においては、柱状部 110 の周縁 140 の形状が、線分 140b<sub>1</sub>, 140b<sub>2</sub>, 140b<sub>3</sub>, 140b<sub>4</sub>を含む場合を示したが、柱状部 110 の周縁 140 の形状はこれに限定されない。ただし、弧状の形状部 140a<sub>1</sub>, 140a<sub>2</sub>, 140a<sub>3</sub>, 140a<sub>4</sub>を除く部分が、線分 140b<sub>1</sub>, 140b<sub>2</sub>, 140b<sub>3</sub>, 140b<sub>4</sub>から外側に存在するように、柱状部 110 の周縁 140 の形状を形成することが望ましい。

【0050】以上により、図 7 に示すように、電流狭窄層形成用層 107 を含む面において、その周縁 140 の形状が、弧状の形状部 140a<sub>1</sub>, 140a<sub>2</sub>, 140a<sub>3</sub>, 140a<sub>4</sub>、および線分 140b<sub>1</sub>, 140b<sub>2</sub>, 140b<sub>3</sub>, 140b<sub>4</sub>から構成される柱状部 110 を形成する。

【0051】続いて、工程 (c) について説明する。

【0052】p 型 A1As 層からなる電流狭窄層形成用層 107 を、400°C 程度の水蒸気雰囲気下にさらす。この工程により、A1As 層が側面から内側へと酸化されていき、絶縁体である酸化アルミニウムが形成される。すなわち、電流狭窄層形成用層 107 が側面から酸化されて、図 6 に示すように、酸化アルミニウムを含む電流狭窄層 111 と、外周部を電流狭窄層 111 で囲まれた電流流域層 107c (電流狭窄層形成用層 107 のうち電流狭窄層 111 に変換されなかつた部分) とが形成される。図 6 において、電流狭窄層 111 を含む面で

(6)

10

切断した場合における断面を図 3 に示す。図 3 に示すように、上記工程により、所望の形状を有する電流狭窄層 111 が得られる。すなわち、電流狭窄層 111 を含む面において、内径 r<sub>1</sub> の円を構成する内周縁 111a を有する電流狭窄層 111 が得られる。図 3 に示す内周縁 111a は、設計された円 111x (図 7 参照) とほぼ同様の形状、大きさを有し、かつほぼ同様の位置に形成される。以上の工程により、半導体基板 101 上に共振器 120 が形成される。

【0053】次いで、モノシリコンを原料とした CVD 法により、柱状部 110 の側面の一部および下部ミラー 103 の上面に、シリコン酸化膜 (SiO<sub>x</sub> 膜) からなる絶縁層 112 を形成する。絶縁層の種類はシリコン酸化膜に限定されるものではなく、窒化シリコン膜 (SiN<sub>x</sub> 膜) などの他の絶縁膜を用いてもよい。あるいは、ポリイミド等の樹脂材料を用いた埋め込み構造を用いてもよい。続いて、絶縁層 112 および柱状部 110 の側面のうち絶縁層 112 が形成されていない部分の上面に、真空蒸着法により金と亜鉛との合金からなる合金層 (図示しない) を形成する。次いで、フォトリソグラフィ法を用いて前記合金層をパターニングして上部電極 113 を形成し、さらに、半導体基板 101 の裏面 (半導体基板 101 において共振器 120 を形成する面と反対側の面) に、真空蒸着法により、金とゲルマニウムとの合金からなる下部電極 115 を形成する。最後に、上記工程により得られた構造体を 350°C で加熱処理し、上部電極 113 と共振器 120 と下部電極 115 とをオーム接続させる。以上のプロセスを経て、図 1 に示される面発光レーザ 100 が得られる。

【0054】(デバイスの構造) 前述した製造プロセスにより得られた面発光レーザ 100 を図 1 ~ 図 3 に示す。図 1 は、本実施の形態にかかる面発光レーザ 100 を、レーザ光の出射口に対向する側から見た平面の要部を模式的に示す図である。図 2 は、図 1 に示される面発光レーザ 100 を、図 1 の A-A 線に沿って切断した断面図である。図 3 は、図 1 に示される面発光レーザ 100 を、電流狭窄層 111 を含む面で切断した場合における断面を模式的に示す図である。

【0055】面発光レーザ 100 においては、面指数 (100) を有する半導体基板 101 上に柱状部 110 を含む共振器 120 が形成されている。共振器 120 は下部ミラー 103、活性層 105、および上部ミラー 108 が積層されて形成されている。柱状部 110 の上面には、金と亜鉛との合金からなる上部電極 113 が形成されている。また、半導体基板 101 において、共振器 120 が形成されている面と反対側の面には、金とゲルマニウムとの合金からなる下部電極 115 が形成されている。

【0056】柱状部 110 には電流狭窄層 111 が形成されており、前述したように、電流狭窄層 111 を含む

(7)

11

面において、柱状部110の周縁140の形状は、電流狭窄層111の内周縁111aの形状の一部と近似する弧状の形状部140a<sub>1</sub>, 140a<sub>2</sub>, 140a<sub>3</sub>, 140a<sub>4</sub>を含む。

【0057】弧状の形状部140a<sub>1</sub>, 140a<sub>2</sub>, 140a<sub>3</sub>, 140a<sub>4</sub>は、電流狭窄層111の内周縁111aの中心から<010>方向、<001>方向、<0-10>方向、および<00-1>方向にそれぞれ形成される。また、弧状の形状部140a<sub>1</sub>, 140a<sub>2</sub>, 140a<sub>3</sub>, 140a<sub>4</sub>は、電流狭窄層111の内周縁111aの形状の一部とほぼ同心円状に形成されている。すなわち、弧状の形状部140a<sub>1</sub>, 140a<sub>2</sub>, 140a<sub>3</sub>, 140a<sub>4</sub>は、電流狭窄層111の内周縁111aを、電流狭窄層111の内周縁111aの中心から<01-1>方向、<011>方向、<0-11>方向、および<01-1>方向にそれぞれ内周縁111aの1/4に分割して得られる弧状の形状部111a<sub>1</sub>, 111a<sub>2</sub>, 111a<sub>3</sub>, 111a<sub>4</sub>を、それぞれ<010>方向、<001>方向、<0-10>方向、および<00-1>方向へと投射させた状態である。

【0058】さらに、弧状の形状部111a<sub>1</sub>と弧状の形状部140a<sub>1</sub>との間の距離l<sub>11</sub>、弧状の形状部111a<sub>2</sub>と弧状の形状部140a<sub>2</sub>との間の距離l<sub>12</sub>、弧状の形状部111a<sub>3</sub>と弧状の形状部140a<sub>3</sub>との間の距離l<sub>13</sub>、ならびに弧状の形状部111a<sub>4</sub>と弧状の形状部140a<sub>4</sub>との間の距離l<sub>14</sub>はそれぞれほぼ等しい。

【0059】また、前述したように、電流狭窄層111を含む面において、図3に示すように、柱状部110の周縁140の形状は、弧状の形状部140a<sub>1</sub>, 140a<sub>2</sub>, 140a<sub>3</sub>, 140a<sub>4</sub>と、これらの弧状の形状部のうち隣接するもの同士を結ぶ線分140b<sub>1</sub>, 140b<sub>2</sub>, 140b<sub>3</sub>, 140b<sub>4</sub>とから構成されている。

【0060】(デバイスの動作) 本実施の形態にかかる面発光レーザ100の一般的な動作を以下に示す。

【0061】上部ミラー108、活性層105、および下部ミラー103で構成されるp i nダイオードに、上部電極113と下部電極115とで順方向の電圧を印加すると、活性層105において、電子と正孔との再結合が起り、前記再結合による発光が生じる。そこで生じた光が上部ミラー108と下部ミラー103との間を往復する際に誘導放出が起り、光の強度が増幅される。光利得が光損失を上まわると、レーザ発振が起り、上部電極113の開口部116から半導体基板101に対して垂直方向にレーザ光が出射される。

【0062】(作用および効果) 次に、本実施の形態にかかる面発光レーザ100およびその製造方法における作用および効果を説明する。

【0063】(1) 本発明者は、電流狭窄層を形成する際ににおける電流狭窄層形成用層の酸化に関して鋭意研究を重ねた結果、電流狭窄層形成用層の酸化速度には半導

12

体基板の結晶方位と関連する異方性が存在することを見出し、本発明を案出した。すなわち、本実施の形態にかかる面発光レーザ100の製造方法によれば、電流狭窄層形成用層107の酸化速度に半導体基板101の結晶方位と関連する異方性が存在することを考慮し、後の工程で形成する電流狭窄層111の内周縁111aの形状および大きさをあらかじめ設計し、設計された電流狭窄層111の内周縁111aの形状および大きさを反映させた柱状部110を形成する。このようにして得られた柱状部110の側面から電流狭窄層形成用層107を酸化することにより、内周縁111aが所望の形状および大きさを有する電流狭窄層111が得られる。本実施の形態にかかる面発光レーザの製造工程においては、内周縁111aが真円形を構成する電流狭窄層111を含む面発光レーザ100が得られる。このため、かかる面発光レーザ100によれば、より真円に近いビーム形状を有するレーザ光を効率よく得ることができる。

【0064】これに対し、例えば、面指数(100)を有する半導体基板上に形成され、柱状部510の平面形状が円形である一般的な面発光レーザ(図10参照)においては、上述した<010>方向、<001>方向、<0-10>方向、および<00-1>方向方向に優先して酸化が進行する結果として、電流狭窄層511の内周縁511aの形状は、柱状部510の周縁540の形状を反映したものとなる。すなわち、電流狭窄層511の内周縁511aの形状は、柱状部510の周縁540の形状とほぼ同じ曲率を有する。このため、電流狭窄層511の内周縁511aの形状は真円状とはならず、図10に示すように、菱形に近い形状となる。このように、電流狭窄層511の内周縁511aの形状が真円形でないと、真円に近い形状のレーザ光を効率よく得ることができない。したがって、このような面発光レーザは例えば光ファイバを用いた光通信の光源として用いるのに適さないことがある。

【0065】(2) 電流狭窄層111の内周縁111aの中心から弧状の形状部140a<sub>1</sub>, 140a<sub>2</sub>, 140a<sub>3</sub>, 140a<sub>4</sub>までの距離がそれぞれほぼ等しいことにより、電流狭窄層形成用層107が<010>方向、<001>方向、<0-10>方向、および<00-1>方向にほぼ等しく酸化されるため、電流狭窄層111の内周縁111aの形状をより真円形に近づけることができる。

【0066】(3) 電流狭窄層111を含む面において、弧状の形状部140a<sub>1</sub>, 140a<sub>2</sub>, 140a<sub>3</sub>, 140a<sub>4</sub>を除く柱状部110の周縁140の形状が、これらの弧状の形状部のうち隣接するもの同士を結ぶ線分140b<sub>1</sub>, 140b<sub>2</sub>, 140b<sub>3</sub>, 140b<sub>4</sub>を含む。面発光レーザ100においては、柱状部110の周縁140の形状が、弧状の形状部140a<sub>1</sub>, 140a<sub>2</sub>, 140a<sub>3</sub>, 140a<sub>4</sub>を除く部分が、線分140

(8)

13

$b_1, 140b_2, 140b_3, 140b_4$ より外側に形成されていることが望ましい。この構成によると、電流狭窄層形成用層107の酸化を制御することができ、所望の形状および大きさを有する電流狭窄層111を得ることができる。

【0067】(第2の実施の形態)

(デバイスの構造) 図8は、本発明の第2の実施の形態にかかる面発光レーザ200を模式的に示す断面図である。

【0068】第2の実施の形態にかかる面発光レーザ200は、図8に示すように、電流狭窄層211を含む面において、弧状の形状部240a<sub>1</sub>, 240a<sub>2</sub>, 240a<sub>3</sub>, 240a<sub>4</sub>部分を除く柱状部210の周縁240の形状が曲線状である点を除き、第1の実施の形態にかかる面発光レーザ100とほぼ同様の構成を有する。

【0069】面発光レーザ200は、柱状部210および電流狭窄層211を有する。柱状部210および電流狭窄層211は、第1の実施の形態にかかる面発光レーザ100に含まれる柱状部110および電流狭窄層111と同様の機能を有する。

【0070】また、柱状部210の形状に着目すると、柱状部210の周縁240の形状が弧状の形状部240a<sub>1</sub>, 240a<sub>2</sub>, 240a<sub>3</sub>, 240a<sub>4</sub>を含む点で、柱状部110の周縁140の形状と同様である。同様に、弧状の形状部211a<sub>1</sub>と弧状の形状部240a<sub>1</sub>との間の距離l<sub>21</sub>、弧状の形状部211a<sub>2</sub>と弧状の形状部240a<sub>2</sub>との間の距離l<sub>22</sub>、弧状の形状部211a<sub>3</sub>と弧状の形状部240a<sub>3</sub>との間の距離l<sub>23</sub>、ならびに弧状の形状部211a<sub>4</sub>と弧状の形状部240a<sub>4</sub>との間の距離l<sub>24</sub>はそれぞれほぼ等しい。

【0071】一方、柱状部210の周縁240の形状においては、弧状の形状部240a<sub>1</sub>, 240a<sub>2</sub>, 240a<sub>3</sub>, 240a<sub>4</sub>のうち隣接するもの同士を結ぶ線が曲線240b<sub>1</sub>, 240b<sub>2</sub>, 240b<sub>3</sub>, 240b<sub>4</sub>により構成されており、周縁240の形状全体が擬似円形状である点において、直線140b<sub>1</sub>, 140b<sub>2</sub>, 140b<sub>3</sub>, 140b<sub>4</sub>により構成されている柱状部110の周縁140の形状と異なる。

【0072】(デバイスの製造プロセス) 第2の実施の形態にかかる面発光レーザ200の製造方法は、柱状部210を形成する際に、電流狭窄層211を含む面において、図8に示すように、柱状部210の周縁240の形状が曲線状となるように柱状部210を形成する以外は、第1の実施の形態にかかる面発光レーザ100の製造方法とほぼ同様である。よって、製造工程に関する説明は省略する。

【0073】(デバイスの動作、作用および効果) 第2の形態にかかる面発光レーザ200は、第1の実施の形態にかかる面発光レーザ100と同様の動作、ならびに作用および効果を有する。よって、その説明を省略す

る。

【0074】(第3の実施の形態)

(デバイスの構造) 図9は、本発明の第3の実施の形態にかかる面発光レーザ300を模式的に示す断面図である。

【0075】第3の実施の形態にかかる面発光レーザ300は、活性層(図示せず)に歪みを発生させるための歪み付加部330が柱状部310に形成されている点を除き、第2の実施の形態にかかる面発光レーザ200とほぼ同様の構成を有する。柱状部310の周縁340の形状は、柱状部210と同様に、弧状の形状部340a<sub>1</sub>, 340a<sub>2</sub>, 340a<sub>3</sub>, 340a<sub>4</sub>と、および隣接する前記弧状の形状部同士を結ぶ曲線340b<sub>1</sub>, 340b<sub>2</sub>, 340b<sub>3</sub>, 340b<sub>4</sub>とを含み構成されている。さらに、弧状の形状部311a<sub>1</sub>と弧状の形状部340a<sub>1</sub>との間の距離l<sub>31</sub>、弧状の形状部311a<sub>2</sub>と弧状の形状部340a<sub>2</sub>との間の距離l<sub>32</sub>、弧状の形状部311a<sub>3</sub>と弧状の形状部340a<sub>3</sub>との間の距離l<sub>33</sub>、ならびに弧状の形状部311a<sub>4</sub>と弧状の形状部340a<sub>4</sub>との間の距離l<sub>34</sub>はそれぞれほぼ等しい。

【0076】面発光レーザ300は、柱状部310および電流狭窄層311を有する。柱状部310および電流狭窄層311は、第2の実施の形態にかかる面発光レーザ200に含まれる柱状部210および電流狭窄層211と同様の機能を有する。柱状部310は、歪み付加部330を除き、柱状部210と同様の形状および構造を有する。

【0077】(デバイスの製造プロセス) 第3の実施の形態にかかる面発光レーザ300の製造方法は、図9に示すように、柱状部310を形成する際に、柱状部310に歪み付加部330を形成する以外は、第2の実施の形態にかかる面発光レーザ200の製造方法とほぼ同様である。よって、製造工程に関する説明は省略する。

【0078】(デバイスの動作、作用および効果) 第3の形態にかかる面発光レーザ300の動作は、第1および第2の実施の形態にかかる面発光レーザ100, 200の動作と同様である。よって、その説明を省略する。

【0079】また、第3の実施の形態にかかる面発光レーザ300の作用および効果は、第1および第2の実施の形態にかかる面発光レーザ100, 200の作用および効果とほぼ同様であり、さらに、以下の効果を有する。

【0080】第3の実施の形態にかかる面発光レーザ300においては、柱状部310に歪み付加部330が形成されていることにより、歪み付加部330が伸び出している方向と垂直な方向に偏光したレーザ発光を得ることができる。ここで、歪み付加部330が伸び出している方向とは、図9に示す<01-1>方向および<0-11>方向のことであり、歪み付加部330が伸び出している方向と垂直な方向とは、図9に示す<011>方

(9)

15

向および<0-1-1>方向のことである。

【0081】なお、歪み付加部330は、柱状部310の周縁のうち弧状の形状部340a<sub>1</sub>、340a<sub>2</sub>、340a<sub>3</sub>、340a<sub>4</sub>形成されている部分以外に形成される。このため、電流狭窄層311の形状に影響を与えることなくレーザ光の偏光を制御することができる。

【0082】なお、上記の実施の形態において、各半導体層におけるp型とn型とを入れ替えて本発明の趣旨を逸脱するものではない。上記の実施の形態では、A1-Ga-A<sub>s</sub>系のものについて説明したが、発振波長に応じてその他の材料系、例えば、In-P系、In-A<sub>1</sub>-As系、Ga-In-As系、Ga-In-N系、Al-Ga-In-P系、Ga-In-N-As系、Al-Ga-In-As系、Ga-In-As-P系等の半導体材料を用いることも可能である。

【0083】また、上記の実施の形態における面発光レーザの駆動方法は一例であり、本発明の趣旨を逸脱しない限り、種々の変更が可能である。また、上記の実施の形態では、柱状部が一つである面発光レーザを示しているが、基板面内で柱状部が複数個あっても本発明の形態は損なわれない。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施の形態にかかる面発光型半導体レーザを、レーザ光の出射口に対向する側から見た平面の要部を模式的に示す図である。

【図2】図1に示す面発光型半導体レーザのA-A線に沿った断面を模式的に示す図である。

【図3】図1に示される面発光型半導体レーザを、電流狭窄層を含む面で切断した場合における断面を模式的に示す図である。

【図4】本発明の第1の実施の形態にかかる面発光型半導体レーザの製造方法の第1の工程を模式的に示す断面図である。

【図5】本発明の第1の実施の形態にかかる面発光型半導体レーザの製造方法の第2の工程を模式的に示す断面図である。

【図6】本発明の第1の実施の形態にかかる面発光型半導体レーザの製造方法の第3の工程を模式的に示す断面図である。

【図7】本発明の第1の実施の形態にかかる面発光型半導体レーザの製造工程において形成された柱状部を、電流狭窄層形成用層を含む面において切断した場合の断面を模式的に示す図である。

【図8】本発明の第2の実施の形態にかかる面発光型半導体レーザを、電流狭窄層を含む面で切断した場合における断面を模式的に示す図である。

16

【図9】本発明の第3の実施の形態にかかる面発光型半導体レーザを、電流狭窄層を含む面で切断した場合における断面を模式的に示す図である。

【図10】一般的な面発光型半導体レーザの柱状部を、電流狭窄層を含む面で切断した場合における断面を模式的に示す図である。

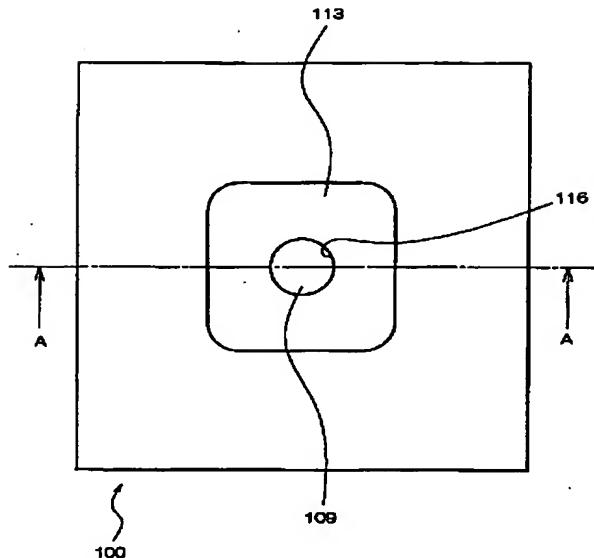
#### 【符号の説明】

100, 200, 300 面発光型半導体レーザ (面発光レーザ)

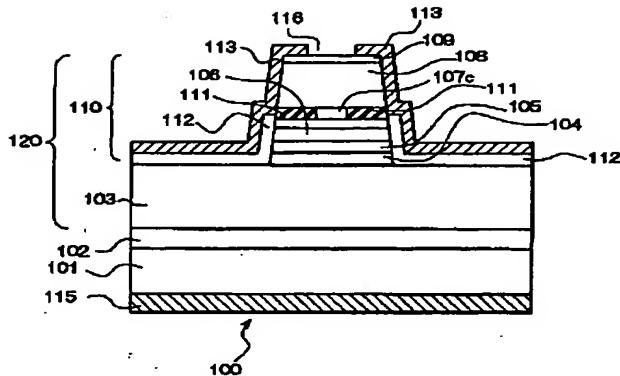
- 10 101 半導体基板
- 102 バッファ層
- 103 下部ミラー
- 104, 104a クラッド層
- 105, 105a 活性層
- 106, 106a クラッド層
- 107, 107a 電流狭窄層形成用層
- 107c 電流流域層
- 108, 108a 上部ミラー
- 109, 109a コンタクト層
- 20 110, 210, 310 柱状部
- 111, 211, 311 電流狭窄層
- 111a, 211a, 311a 電流狭窄層の内周縁
- 111a<sub>1</sub>, 111a<sub>2</sub>, 111a<sub>3</sub>, 111a<sub>4</sub> 弧状の形状部
- 111x, 211x, 311x 円
- 111x<sub>1</sub>, 111x<sub>2</sub>, 111x<sub>3</sub>, 111x<sub>4</sub> 弧状の形状部
- 112 絶縁層
- 113 上部電極
- 30 115 下部電極
- 116 開口部
- 120 共振器
- 140, 240, 340 柱状部の周縁
- 140a<sub>1</sub>, 140a<sub>2</sub>, 140a<sub>3</sub>, 140a<sub>4</sub> 弧状の形状部
- 140b<sub>1</sub>, 140b<sub>2</sub>, 140b<sub>3</sub>, 140b<sub>4</sub> 線分
- 150 半導体堆積層
- 211a<sub>1</sub>, 211a<sub>2</sub>, 211a<sub>3</sub>, 211a<sub>4</sub> 弧状の形状部
- 40 240a<sub>1</sub>, 240a<sub>2</sub>, 240a<sub>3</sub>, 240a<sub>4</sub> 弧状の形状部
- 311a<sub>1</sub>, 311a<sub>2</sub>, 311a<sub>3</sub>, 311a<sub>4</sub> 弧状の形状部
- 330 歪み付加部
- 340a<sub>1</sub>, 340a<sub>2</sub>, 340a<sub>3</sub>, 340a<sub>4</sub> 弧状の形状部

(10)

[図 1 ]

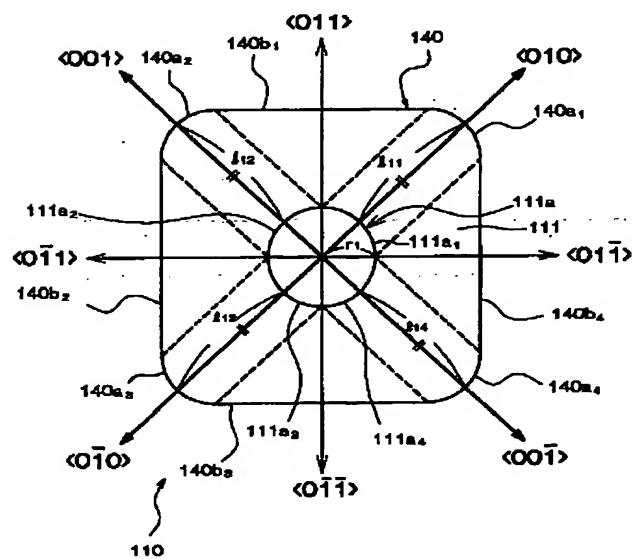


【図2】

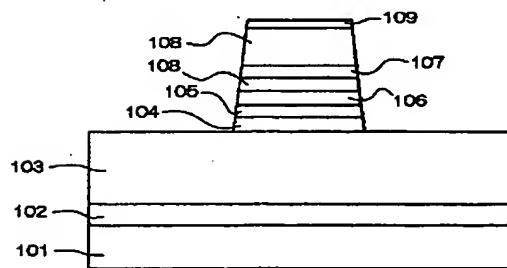


[図4]

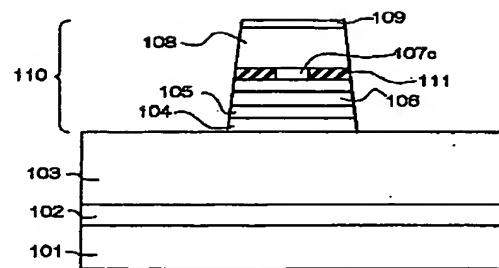
【図3】



【図5】

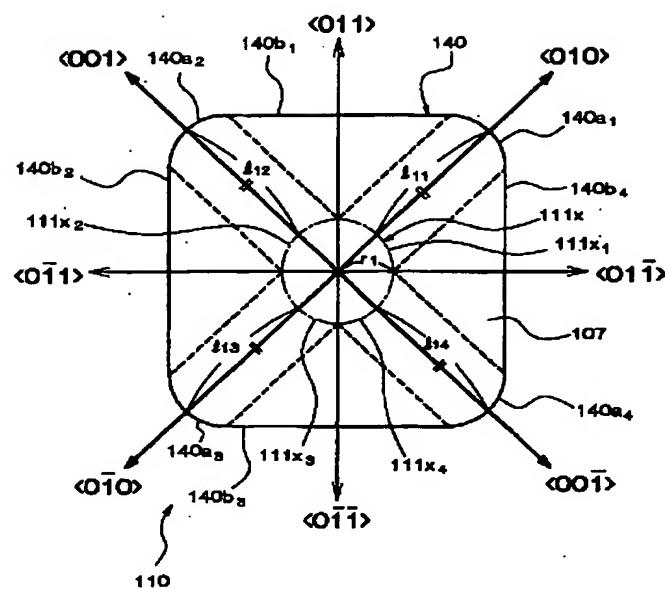


【図6】

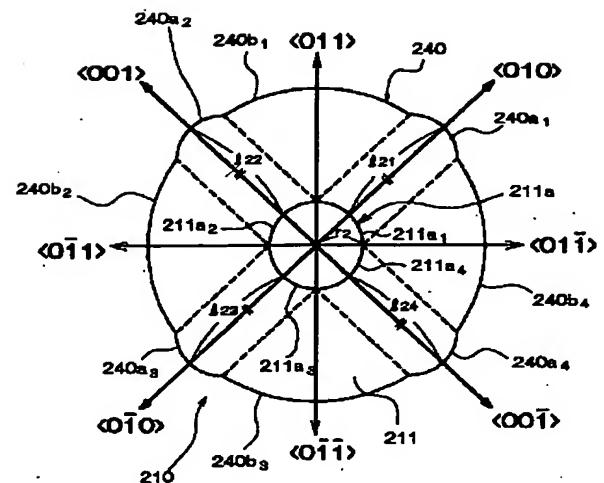


(11)

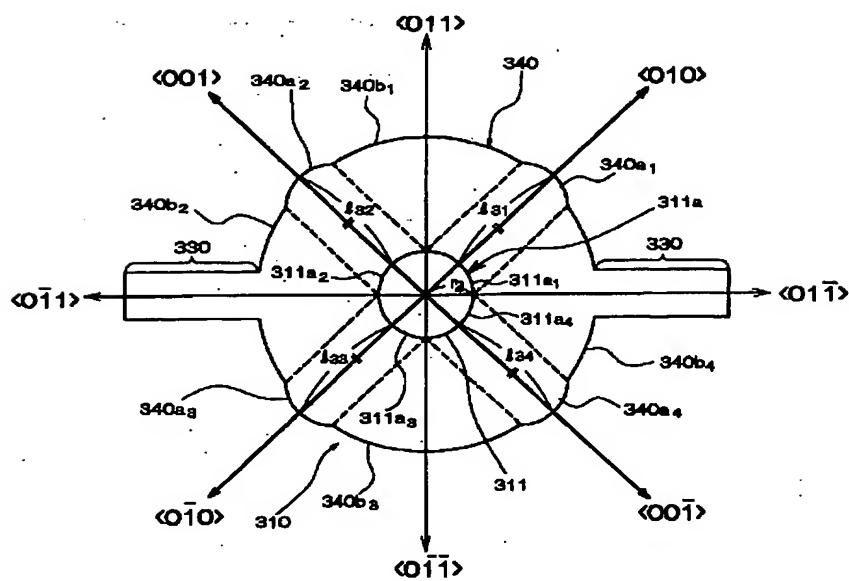
【図7】



【図8】

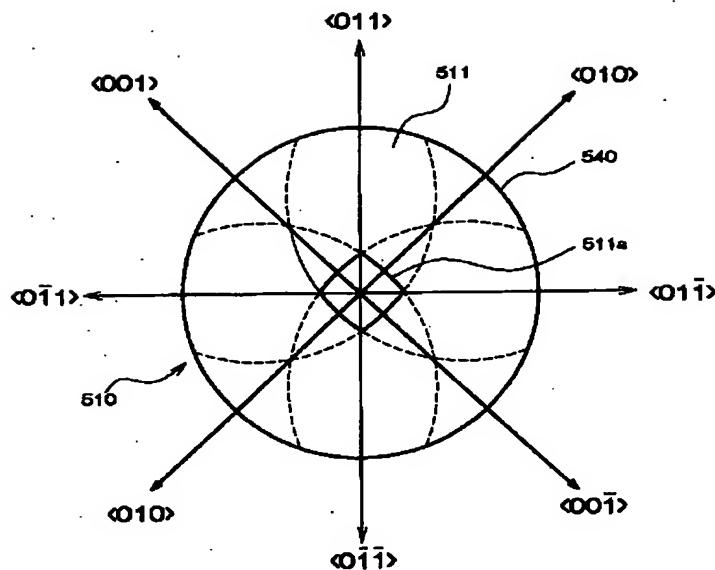


【図9】



(12)

【図10】



フロントページの続き

(72)発明者 西田 哲朗  
 長野県諏訪市大和3丁目3番5号 セイコ  
 一エプソン株式会社内

Fターム(参考) 5F073 AA51 AA65 AA74 AB17 CA04  
 DA05 DA21 DA27 DA30 DA35  
 EA18

【公開番号】特開2001-284727

【公報種別】特許法第17条の2の規定による補正の掲載

【S T公報種別】A5

【公開日】2001年(2001)10月12日

【出願番号】特願2000-91803

【発行日】2004年(2004)10月7日

【部門区分】第7部門第2区分

【国際特許分類第7版】

H01S 5/183

H01S 5/343

【F I】

H01S 5/183

H01S 5/343

【手続補正書】

【提出日】2003年(2003)9月24日

【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】特許請求の範囲

【補正方法】変更

【補正の内容】

【特許請求の範囲】

【請求項1】

面指数(100)を有する半導体基板上に共振器が形成され、該共振器から前記半導体基板と垂直方向へレーザ光を出射する面発光型半導体レーザであつて、

前記共振器は、少なくとも一部に柱状の半導体堆積体を含み、

前記柱状の半導体堆積体は電流狭窄層を含み、

前記電流狭窄層を含む面において、前記柱状の半導体堆積体の周縁の形状が前記電流狭窄層の内周縁の形状の一部と近似する弧状の形状部を含み、

前記弧状の形状部は、前記電流狭窄層の内周縁の中心から<010>方向、<001>方向、<0-10>方向、および<00-1>方向にそれぞれ形成されている、面発光型半導体レーザ。

【請求項2】

請求項1において、

前記電流狭窄層の内周縁の形状の一部と前記弧状の形状部とがほぼ同心円状に形成されている、面発光型半導体レーザ。

【請求項3】

1

2

請求項1または2において、

前記弧状の形状部は、前記電流狭窄層の内周縁を、前記電流狭窄層の内周縁の中心から<01-1>方向、<011>方向、<0-11>方向、および<0-1-1>方向にそれぞれ分割して得られる形状を、それぞれ<010>方向、<001>方向、<0-10>方向、および<00-1>方向へと投射させた状態である、面発光型半導体レーザ。

【請求項4】

請求項1～3のいずれかにおいて、

前記電流狭窄層の内周縁の中心から前記弧状の形状部までの距離がそれほど等しい、面発光型半導体レーザ。

【請求項5】

請求項1～4のいずれかにおいて、

前記弧状の形状部は、前記電流狭窄層の内周縁を1/4に分割した形状を有する、面発光型半導体レーザ。

(2)

## 【請求項 6】

3

0

4

請求項 1～5 のいずれかにおいて、

前記電流狭窄層を含む面において、前記弧状の形状部を除く前記柱状の半導体堆積体の周縁が、隣接する前記弧状の形状部同士を結ぶ線分から外側に形成されている、面発光型半導体レーザ。

## 【請求項 7】

請求項 1～6 のいずれかにおいて、

前記電流狭窄層を含む面において、前記弧状の形状部を除く前記柱状の半導体堆積体の周縁が曲線状である、面発光型半導体レーザ。

## 【請求項 8】

請求項 1～7 のいずれかにおいて、

前記電流狭窄層を含む面において、前記弧状の形状部を除く前記柱状の半導体堆積体の周縁が直線状である、面発光型半導体レーザ。

## 【請求項 9】

請求項 1～8 のいずれかにおいて、

前記活性層に歪みを発生させるための歪み付加部が、前記柱状の半導体堆積体に形成され、

前記電流狭窄層を含む面において、前記歪み付加部は、前記弧状の形状部を除く前記柱状の半導体堆積体の周縁に形成されている、面発光型半導体レーザ。

## 【請求項 10】

請求項 1～9 において、

前記電流狭窄層の内周縁が真円形である、面発光型半導体レーザ。

## 【請求項 11】

以下の工程 (a)～(c) を含む面発光型半導体レーザの製造方法。

(a) 面指数 (100) を有する半導体基板の表面に、電流狭窄層を形成するための層を含む半導体堆積層を積層する工程、

(b) 前記半導体堆積層をエッティングして柱状の半導体堆積体を形成する工程であって、

前記電流狭窄層を形成するための層を含む面において、電流狭窄層の内周縁の形状を所定の形状に設計しておき、設計された前記電流狭窄層の内周縁の中心からそれぞれ&lt;010&gt;方向、&lt;001&gt;方向、&lt;0-10&gt;方向、および&lt;00-1&gt;方向に、設計された前記電流狭窄層の内周縁の形状の一部と近似する弧状の形状部をその周縁に含む前記柱状の半導体堆積体を形成する工程、および

(c) 前記電流狭窄層を形成するための層を側面から酸化することにより、該電流狭窄層を形成するための層から、設計された所定の形状とほぼ同様の形状を有する電流狭窄層を形成する工程。

## 【請求項 12】

請求項 11 において、

前記工程 (b) において、

設計された前記電流狭窄層の内周縁の形状の一部とほぼ同心円状に、前記弧状の形状部を形成する、面発光型半導体レーザの製造方法。

## 【請求項 13】

請求項 11 または 12 において、

前記工程 (b) において、

設計された前記電流狭窄層の内周縁の中心から&lt;01-1&gt;方向、&lt;011&gt;方向、&lt;0-11&gt;方向、および&lt;0-1-1&gt;方向に前記電流狭窄層の内周縁を分割して得られる形状を、それぞれ&lt;010&gt;方向、&lt;001&gt;方向、&lt;0-10&gt;方向、および&lt;00-1&gt;方向へと投射させて、前記弧状の形状部を形成する、面発光型半導体レーザの製造方法。

## 【請求項 14】

請求項 11～13 のいずれかにおいて、

(3)

前記工程 (b) において、5

0

6

設計された前記電流狭窄層の内周縁の中心から前記弧状の形状部までの距離がほぼ等しくなるように形成する、面発光型半導体レーザの製造方法。

## 【請求項 15】

請求項 11～14 のいずれかにおいて、

前記工程 (b) において、

前記弧状の形状部を、設計された前記電流狭窄層の内周縁の形状の 1/4 に形成する、面発光型半導体レーザの製造方法。

## 【請求項 16】

請求項 11～15 のいずれかにおいて、

前記工程 (b) において、

設計された前記電流狭窄層を含む面において、前記弧状の形状部を除く前記柱状の半導体堆積体の周縁を、隣接する前記弧状の形状部同士を結ぶ線分から外側に形成する、面発光型半導体レーザの製造方法。